

VŠB-Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Úprava zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy  
Soil treatment by lime and hydraulic road binders

Student: Vít Horáček  
Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. František Krešta, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vít Horáček**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Úprava zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy**  
**Soil treatment by lime and hydraulic road binders**

Zásady pro vypracování:

### Anotace

Úprava zemin pojivy patří ke standardním technologiím a vede k optimálnímu využití zemin na stavbách. Kromě vápna se v poslední době úspěšně používají hydraulická silniční pojiva. Vedle obecných zákonitostí úpravy zemin se práce bude věnovat srovnání výsledků průkazních a kontrolních zkoušek upravených zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy na vybraných stavbách silniční infrastruktury na severní Moravě. Obsah práce lze formulovat do následujících bodů:

- 1) Obecné zákonitosti úpravy zemin vápnem a hydraulickými pojivy.
- 2) Vlastnosti zemin upravených vápnem a hydraulickými silničními pojivy.
- 3) Příklady použitých pojiv na vybraných stavbách pozemních komunikací.
- 4) Výsledky průkazních zkoušek a jejich srovnání pro jednotlivé typy pojiv.
- 5) Výsledky kontrolních zkoušek a jejich srovnání pro jednotlivé typy pojiv.
- 6) Závěry a doporučení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

#### Doporučená literatura

Rogers, C. D. F., Glendinning, S., Dixon, N.: Lime Stabilisation. Thomas Telford Publishing London, 1996, ISBN 0-7277-2563-7

Lindh, P.: Compaction - and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills.- Doctoral thesis, Lund University, Lund, 2004, ISBN 91-973723-5-8.

Little, D.: Fundaments of the stabilisation of soils with lime. National Lime Association Bulletin, No. 332, London, 1987, ISSN 1131-1001.

Soil treatment with lime and/or hydraulic binders. Application to the construction of fills and capping layers. Technical Guide. LCPC Paris. 2004, ISSN 1151-1516

TP 94 Úprava zemin (účinnost od 1.11.2013)

ČSN EN 14 227-4:2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 4: Popílký pro směsi stmelené hydraulickými pojivy

ČSN EN 14 227-10: 2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 10: Zeminy upravené cementem

ČSN EN 14 227-11: 2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 11: Zeminy upravené vápnem

ČSN EN 14 227-12: 2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 12: Zeminy upravené struskou

ČSN EN 14 227-13: 2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 13: Zeminy upravené

hydraulickými silničními pojivy

ČSN EN 14 227-14: 2013 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 14: Zeminy upravené popílkem

ČSN EN 13 242: 2013 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace

ČSN EN 13282-1: 2013 Hydraulická silniční pojiva - Část 1: Rychle tvrdnoucí hydraulická silniční pojiva – Složení, specifikace a kritéria shody

ČSN prEN 13282-2: 2014 Hydraulická silniční pojiva - Část 2: Normálně tvrdnoucí hydraulická silniční pojiva – Složení, specifikace a kritéria shody

ČSN EN 13 286-49: 2005 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 49: Zkušební metoda pro stanovení zrychleného bobtnání zemin upravených vápnem a/nebo hydraulickými pojivy

ČSN 72 1006: 1998 Kontrola zhutnění zemin a sypanin

ČSN 72 1191: 2013 Zkoušení míry namrzavosti zemin

ČSN 73 6133: 2010 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací


TKP 4 Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 4 Zemní práce, MD ČR. 2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

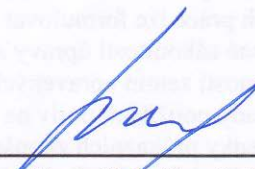
Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. František Kresta, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Libor Židek  
vedoucí katedry

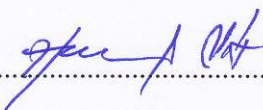


  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.  
děkanka fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 29. 4. 2014 .....

.....  


podpis studenta

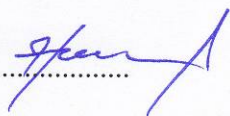


Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

29.4.2014



## **ANOTACE**

HORÁČEK, Vít. *Úprava zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2014. 60 s.

Tato bakalářská práce se zabývá úpravou zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy. V první části je popsán historický vývoj a obecné zákonitosti úpravy zemin. Jsou zde popsány nejčastěji používané metody úprav zemin a vhodnost jejich použití. Následně je uveden technologický postup prací při úpravách zemin a metody zkoušení upravených zemin. Druhá část je zaměřena na praktické využití metody úprav zemin na stavbách silniční infrastruktury v Moravskoslezském kraji, výsledky průkazních a kontrolních zkoušek, kterých bylo dosaženo na těchto stavbách a jejich vzájemné porovnání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zemina, úprava zemin, vápno, hydraulická silniční pojiva, vlhkost, objemová hmotnost.

## **ABSTRACT**

HORÁČEK, Vít. *Soil treatment by lime and hydraulic road binders*. Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, 2014. 60 s.

This study deals with the soil treatment with lime and hydraulic road binders. The first part describes the historical development and general patterns of soil treatment. The most commonly used methods of soil treatment and suitability of their use are described in this part. Next a technological process of soil treatment and methods of control tests are mentioned. The second part of the study is concentrated on the practical application of methods of soil treatments on the construction of road infrastructure in the Moravian-Silesian Region and evaluation of the results of the tests that have been achieved in these constructions and their comparison.

## **KEYWORDS**

Soil, soil treatment, lime, hydraulic road binders, moisture, bulk density.

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Teoretická část.....	9
2.1 Evropské a české normy a předpisy upravující podmínky při provádění úprav zemin .....	9
2.2 Vývoj úprav zemin v Evropě.....	10
2.3 Současné způsoby úpravy zemin .....	11
2.3.1 Zeminy upravené vápnem .....	12
2.3.2 Zeminy upravené cementem a hydraulickými silničními pojivy .....	14
2.3.3 Zeminy upravené popílkem.....	15
2.3.4 Zeminy upravené vysokopecní struskou .....	16
2.4. Návrh úpravy zemin .....	17
2.5 Technologické postupy prací při úpravě zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy .....	21
2.5.1 Stroje a stavební mechanizace pro úpravu zemin.....	22
2.5.2 Provádění úprav zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy .....	23
2.5.3 Úpravy zemin v podloží násypu .....	25
2.5.4 Úpravy zemin v zářezu.....	25
2.5.5 Úpravy zemin v násypu.....	26
2.5.6 Úpravy zemin v aktivní zóně.....	26
2.6 Průkazní zkoušky .....	27
2.7 Kontrolní zkoušky .....	30
3. Experimentální část .....	35
3.1 Průkazní laboratorní zkoušky při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ .....	35
3.1.2 Výsledky průkazních laboratorních zkoušek při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ .....	36
3.2 Kontrolní laboratorní zkoušky při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ .....	43

3.2.1 Výsledky kontrolních laboratorních zkoušek při stavbě přeložky silnice I/57 Hladké Životice – obchvat .....	43
3.2.2 Stanovení přirozené vlhkosti prosté zeminy.....	44
3.2.3 Stanovení zhutnitelnosti dle Proctor Standard.....	45
3.2.4 Stanovení modulu přetvárnosti statickou zatěžovací zkouškou .....	49
3.2.5 Stanovení poměru zhutnitelnosti CBR .....	51
3.3 Porovnání výsledků průkazních a kontrolních laboratorních zkoušek při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ .....	52
4. Zhodnocení a závěr .....	54
Seznam použité literatury a informačních zdrojů.....	56
Seznam použitých obrázků.....	58
Seznam použitých tabulek.....	59



# 1. Úvod

Úprava zemin dnes patří k již zaběhnutým moderním technologiím uplatňovaným při stavebních pracích. Zejména při provádění zemních prací je často navrhováno zlepšování vlastností zemin s ohledem na jejich původní mechanicko-fyzikální vlastnosti. Jelikož náhrada nevhodné zeminy za jiný vhodnější materiál je často časově a finančně náročná, je úprava zemin zajímavou alternativou z ekonomického hlediska. Při úpravách zemin na stavbě se rovněž snižují dopady na životní prostředí ať už snížením vlivů dopravy, či úsporou zásob přírodních zdrojů. Samotným zlepšováním vlastností zemin měníme charakteristiku základové půdy, zvyšujeme její smykovou pevnost a pevnost v prostém tlaku, zároveň zlepšujeme zpracovatelnost zeminy, stejně tak jako její odolnost proti klimatickým vlivům a další vlastnosti. Nevýhodu při úpravách zemin je zvýšená prašnost na stavbě a především nutnost přistupovat ke každému návrhu individuálně. Ačkoliv je úprava zemin historicky ověřenou metodou, vlastnosti zemin se v různých místech mohou podstatně lišit, což je patrné zejména na liniových stavbách.

V současné době existuje široká škála možností úprav zemin. Tato bakalářská práce se zabývá úpravou zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy při provádění zemních těles pozemních komunikací. Porovnává výsledky průkazních a kontrolních zkoušek na stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice - obchvat“.



*Obrázek 1: Zemní fréza při mísení zeminy - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]*

## **2. Teoretická část**

### **2.1 Evropské a české normy a předpisy upravující podmínky při provádění úprav zemin**

Úpravy zemin jsou popsány v Technických podmínkách 94 – Úprava zemin, které navazují na platné české normy a evropské normy.

Přehled evropských norem pro zeminy upravené hydraulickými pojivy:

ČSN EN 14 227-4 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 4:  
Popílký pro směsi stmelené hydraulickými pojivy

ČSN EN 14 227-10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 10:  
Zeminy upravené cementem

ČSN EN 14 227-11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 11:  
Zeminy upravené vápnem

ČSN EN 14 227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12:  
Zeminy upravené struskou

ČSN EN 14 227-13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 13:  
Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy

ČSN EN 14 227-14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 14:  
Zeminy upravené popílkem

## 2.2 Vývoj úprav zemin v Evropě

Technika úprav zemin byla známa již ve starověkém Římě při výstavbě silnic, skutečný vývoj začal až po druhé světové válce konkrétně od šedesátých let dvacátého století. Vedla k tomu snaha o vytvoření moderní sítě dopravní infrastruktury, spojená s ochranou přírodních zdrojů a ekonomickou úsporou. [11]

V závislosti na historii, geologických podmínkách a klimatu, lze vývoj rozdělit do čtyř geografických poloh:

- země severozápadní Evropy
- země střední Evropy
- země jižní Evropy
- nové aktéry

V zemích severozápadní Evropy (Francie, Německo, Belgie, Rakousko, Švýcarsko, Nizozemí, Finsko, Norsko, Švédsko a Velká Británie) počal progresivní vývoj využívání technologie úprav zemin od 60. let 20. století. Přicházeli první investoři, technické laboratoře, dodavatelé a výrobci strojního zařízení. Zájem všech zainteresovaných stran vedl k rozvoji účinné technologie. [11]

Do zemí střední Evropy jako jsou Česká republika, Maďarsko a Polsko se tyto technologie dostaly v plném rozsahu až od počátku devadesátých let dvacátého století - převzetím know-how a „západních“ technologií nebo prostřednictvím soukromých dodavatelů ze západních zemí.

Podobný vývoj byl zaznamenán v zemích jižní Evropy (Itálie, Portugalsko, Španělsko) od konce devadesátých let minulého století. Využívají znalosti zemí severní a západní Evropy zejména při stavbách dopravní infrastruktury (dálnice, vysokorychlostní železnice). [11]

Mezi posledními evropskými zeměmi, ve kterých se začala používat technologie úpravy zemin, byly Slovensko, Irsko, Rumunsko a Dánsko. Důvodem byly investice do moderní infrastruktury.

V současné době je objem upravených zemin v Evropě zhruba 60-100 miliónů m<sup>3</sup> při úpravě vápnem a 30-50 miliónů m<sup>3</sup> při úpravách hydraulickými silničními pojivy za rok, což odpovídá dálnici mezi Paříží a Prahou. [11]

## 2.3 Současné způsoby úpravy zemin

Úpravu zemin lze rozdělit na mechanickou úpravu a úpravu s pomocí různých druhů pojiv.

Při mechanické úpravě dochází k mísení původní nevhodné zeminy se zeminou vhodnější, často s odlišnou granulometrií. Nejčastější je přidávání hrubozrnné zeminy k zemině jemnozrnné. Mechanická úprava zemin je vhodná pro váté písky se strmou křivkou zrnitosti a jako první stupeň úpravy vysoce plastických zemin (jíly a hlíny). Tato metoda je náročná na dopravu, dochází k velkému přesunu materiálu, je proto vhodná zejména při lokálních úpravách. Další možností je promísení zeminy s malým množstvím textilních vláken. Jde o tzv. mikrovyztužování a experimentálně se použilo pro písčité zeminy.

Úprava pojivy zlepšuje mechanicko-fyzikální vlastnosti zemin pomocí pojiv. Pojivy upravená zemina mění své vlastnosti okamžitě. Dochází ke snížení přirozené vlhkosti, k zvýšení její únosnosti a snížení plasticity. To přináší lepší strojní zpracovatelnost a umožňuje kvalitnější hutnění, což usnadňuje pohyb staveništní dopravy po samotné pracovní ploše. O použití vhodného pojiva rozhodují průkazní zkoušky. [7]

Obecně lze říci, že pro úpravu jemnozrnných zemin střední plasticity, ke kterým patří především spraše a sprašové hlíny, se doporučuje použít vápno podle ČSN EN 14 227-11 upřesněné v čl. 2.3 TP 94. Pro úpravu jemnozrnných zemin s nízkou plasticitou se doporučuje použít cement nebo hydraulické silniční pojivo podle ČSN EN 14 227-10 nebo ČSN EN 14 227-13. Použití popílku podle ČSN EN 14 227-14 je možné všude tam, kde lze dosáhnout požadovaných parametrů. Při použití vápenatých popílků je nutné posoudit objemové změny upravené zeminy (viz TP 93). [7]

Vlastnost zeminy	Působení	Příměs vápna	Příměs cementu
Vlhkost	snižuje	1 – 2 %	0,2 – 0,4 %
Maximální objemová hmotnost	snižuje	5 – 100 kg/m <sup>3</sup>	6 – 20 kg/m <sup>3</sup>
Optimální vlhkost	zvyšuje	0,5 – 2 %	beze změny
Poměr únosnosti CBR na vzorku zhutněnému při zkušební vlhkosti	zvyšuje	5 – 50 % CBR	5 – 15 % CBR
Na vzorku po zrání a následné saturaci	zvyšuje	5 – 50 % CBR	10 – 50 % CBR

Tabulka 1: Orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztažené na 1 % příměsi pojiva [7]

### 2.3.1 Zeminy upravené vápnem

Úpravy zemin vápnem patří v České republice k nejrozšířenějším úpravám zemin. Běžně se používají vzdušná jemně mletá nehašená vápna (CaO) vyhovující normě ČSN EN 459-1 ed.2 (přehled požadovaných vlastností vápna je uveden v tabulce 2) nebo vápenný hydrát (Ca(OH)<sub>2</sub>). [7] [11]

CaO + MgO (% hm.)	min. 90%
CaO volné (% hm.)	min. 80%
MgO (% hm.)	max. 5%, obsah max. 7% se povoluje pouze tehdy, vyhoví-li zkouška objemové stálosti podle EN 459-2
Obsah hydratované vody	max. 1,5%
Zbytek na síť 0,2 mm (% hm.)	max. 5%
t <sub>60 °C</sub> (min)	max. 10 min
T <sub>max</sub> (°C)	min. 60 °C

Tabulka 2: Přehled požadovaných vlastností vzdušného nehašeného vápna [7]

Zeminy upravené vápnem mají výrazně lepší mechanicko-fyzikální vlastnosti. Vápnem lze do jisté míry upravovat téměř všechny jemnozrnné zeminy, ale nejvýraznější zlepšení se projevuje při úpravách jemnozrnných zemin střední plasticity. [10]

Reakce vápna v zemině vyvolávají krátkodobé a dlouhodobé účinky. O krátkodobých účincích hovoříme při změnách vyvolaných do 24 hodin. Při reakci jílových minerálů s vápnem dochází ke kationtové výměně. Volné ionty Ca<sup>2+</sup> nahrazují v krystalové struktuře jílu

ionty sodíku ( $\text{Na}^+$ ) a draslíku ( $\text{K}^+$ ). Tento proces mění strukturu materiálu z vrstevnaté, jež je typická pro jílové materiály, na zrnitou. Zároveň dochází k snížení okamžité vlhkosti zeminy. Vysoušení zeminy probíhá kombinací několika procesů:

- hydratace nehaseného vápna  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 65 \text{ kJ/mol}$
- vlivem působení tepla se vypaří část vody
- přidání suchého materiálu (vápna) a jeho smísení se zeminou

Snížení vlhkosti se během těchto procesů pohybuje okolo 1-2% na 1 % příměsi vápna, přičemž je ovlivněno klimatickými podmínkami. Dále dochází k změnám geotechnických parametrů zeminy:

- zvýšení meze plasticity
- zvýšení optimální vlhkosti a snížení maximální objemové hmotnosti
- zvýšení pevnosti zeminy (přetvárné charakteristiky a smykové parametry)
- zvýšení CBR - Kalifornský poměr únosnosti (hodnoty rostou s časem)
- snížení namrzavosti zeminy

Z dlouhodobého hlediska dochází k reakci křemičitanů, hlinitanů a oxidů železa v jílovitých zeminách s vápnem a vodou. Vznikají gely vápníku, křemíku a hliníku, které postupně krystalizují (pucolánová reakce) a vytváří vzájemné vazby. Výsledkem je stmelený materiál pevnější než původní zemina. Nadále dochází k zvyšování hodnot únosnosti CBR i po dobu několika let. [1] [7]





*Obrázek 2: Dávkování vápna a mísení zeminy s vápnem - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]*

### **2.3.2 Zeminy upravené cementem a hydraulickými silničními pojivy**

Princip úpravy zemin cementem a hydraulickými pojivy je podobný jako u úprav prováděných vápnem. Výsledkem mísení cementu se zeminou je zpevnění strukturních vazeb směsí. Množství přidaného cementu se pohybuje v rozmezí od 3 % do 15 % hmotnosti suché zeminy. Použitý cement musí odpovídat ČSN EN 197-1, popřípadě splňovat požadavky na hydraulická silniční pojiva stanovené v ČSN EN 13282-1 a prEN 13282-2. Pro úpravu jsou nejvhodnější portlandské cementy třídy 22,5 a 32,5. Působení cementu a hydraulických pojiv vyvolává následující účinky:

- okamžité účinky
- střednědobé a dlouhodobé účinky

Okamžité účinky cementu se projevují vysoušením zemin. Přidáním cca 1 % cementu do zeminy se sníží její okamžitá vlhkost maximálně o 0,5 %. Hydraulická silniční pojiva s vyšším obsahem vápna mění vlastnosti jílovité frakce zeminy zahrnující rovněž flokulaci jílových materiálů podobně jako při úpravě vápnem. [7]

Střednědobé a dlouhodobé účinky jsou způsobeny důsledkem zpevňujících reakcí ovlivňujících pevnost upravovaného materiálu. Tyto reakce probíhají ve třech etapách. Při první etapě, která je někdy nazývána jako latentní fáze, dochází k postupnému rozpuštění a vysrážení Ca – Si – Fe – Al gelu z volné vody v zeminách. Tento proces probíhá do 24, někdy až do 48, hodin po zamísení. První fáze určuje dobu zpracování směsi. Druhá etapa, která zahrnuje krystalizaci gelu a zpevňování směsi, se vymezuje i na období několika týdnů. Ve třetí etapě jsou vytvořeny všechny Fe - Si alumináty a zvyšuje se pevnost. Bývá označována jako zpevňující a v závislosti na typu pojiva může trvat několik týdnů až měsíců. [1] [7]

Použití cementu doprovází poměrně rychlý nárůst pevnosti. Negativním jevem s tímto souvisejícím je možný vznik trhlin. Z tohoto důvodu byla vyvinuta speciální hydraulická silniční pojiva, která nepříznivé účinky cementu neutralizují. Jedná se například o silniční hydraulická pojiva Doroport a Dorosol, která dodává koncern Holcim.

Doroport se vyrábí kombinovaným mletím portlandského slínku a hydraulických komponentů. Je vhodným pojivem pro podkladní spojovací vrstvy a pro úpravu písčitých a štěrkovitých materiálů v konstrukčních vrstvách. Výsledný materiál vykazuje vysokou únosnost, nepraská, je odolný proti síranům a působení mrazu. [12]

Dorosol je vhodný pro úpravu směsných zemin s vyšším podílem jemnozrné frakce. Jde o pojivo vyrobené kombinací cementu, vápna a hydraulických komponentů. Lze jej vyrábět v mísícím centru, kde lze konečné vlastnosti výrobku operativně přizpůsobit požadavkům stavby. Podle druhu zeminy se přimíchává v množství 2 - 6%. Vytváří zhutnitelnou strukturu zeminy s vysokou únosností. Vyznačuje se odstupňovanou zrnitostí s vysokou jemností zrna. [12]

### **2.3.3 Zeminy upravené popílkem**

Úpravy zemin popílkem mají nespornou výhodu v podobě využití druhotného materiálu. Popílky jsou běžně používány jako násypový materiál, jejich využití při úpravách zemin však zatím nemá dlouhou historii. Dosavadní zkušenosti s popílkem, coby pojivem, nejsou prozatím tak rozsáhlé, aby bylo možné zobecňovat závěry. Pro úpravu zemin lze

použít popílkový stabilizát (PST) a fluidní popel a popílek (FPP) vyhovující požadavkům TP 93 a ČSN EN 14 227-4. Podobně jako u jiných pojiv i zeminy upravené popílkem postupně získávají na pevnosti v prostém tlaku, a to v průběhu několika dní až týdnů. Nárůst pevnosti je závislý na plasticitě zemin. Růst hodnoty CBR je pomalejší než v případě vápna či cementu. Způsobuje to nižší podíl volných kationtů  $\text{Ca}^{2+}$  v popílcích. [7]

V současné době probíhá praktické využití popílkového pojiva RSS 5, které dodává Ekotreg s.r.o. Třinec. Jde o 80% směs popílku a 20% vápna. V poslední době bylo toto pojivo použito na více než dvou desítkách komerčních staveb a při stavbách pozemních komunikací. Pojivo bylo používáno k úpravě jemnozrnných a směsných zemin. Převažovaly jíly s nízkou až střední plasticitou, obsahující méně štěrků a písků. Výsledky kontrolních zkoušek jsou doposud velmi pozitivní a ukazují růst kvality zemin upravených pojivem RSS 5 a dokládají vhodnost dalšího využití tohoto pojiva pro úpravy zemin v budoucnu. [8]

#### **2.3.4 Zeminy upravené vysokopecní struskou**

Granulovaná vysokopecní truska je vhodným alternativním pojivem. Pro její aplikaci je však nutno znát podrobně její chemické a mineralogické složení. Vzniká rychlým ochlazováním vhodně složené tekoucí taveniny zásadité strusky, která odpadá jako vedlejší zplodina při výrobě surového železa ve vysoké peci. Rychlé ochlazení udržuje strusku ve skelném stavu a právě taková má, při vhodném složení, latentně hydraulické vlastnosti. Je tvořena hlavně z  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{MgO}$ . Využití vysokopecních granulovaných strusek pro výrobu pojiv je ovlivněno jejím mineralogickým a chemickým složením. Právě tato dvě kritéria výrazně ovlivňují latentní hydraulické schopnosti strusky. [7]

U strusek může dojít k řadě negativním jevů. V případě pomalého ochlazování zásadité strusky krystalizují a může dojít k silikátovému rozpadu strusky. Tento jev je doprovázen zvětšením objemu a snížením objemové hmotnosti (10 %). Ochlazování kyselých směsí způsobuje růst viskozity, což není vhodné pro vznik krystalické struktury. Dalším nebezpečím je železnatý a manganatý rozpad strusek. Působením oxidace ve vlhkém prostředí vznikají další produkty a dochází k nárůstu objemu, to rovněž může vést k rozpadu strusky. Procesy vedoucí k rozpadu granulovaných strusek jsou velmi pomalé. [7]

Jelikož většina vysokopecní strusky se v České republice využívá při výrobě cementu, je při úpravách zemin její využití minimální.



*Obrázek 3: Plnění dávkovače - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]*

## **2.4. Návrh úpravy zemin**

Pro účely úprav zemin je nutností nejprve provést kvalitní návrh. Mechanicko-fyzikální vlastnosti se stanovují na základě laboratorních zkoušek. Již během etapy podrobného geotechnického výzkumu jsou provedeny orientační průkazní zkoušky, na jejichž základě lze určit materiálové požadavky stavby.

V laboratoři se určují základní parametry zemin, kterými jsou:

- zařídění zeminy dle ČSN 73 6133: 2010 – Příloha A
- stanovení Atterbergových mezí – mez tekutosti, mez plasticity, index plasticity
- stanovení přirozené vlhkosti

- stanovení zkoušky Proctor Standard – maximální suchá objemová hmotnost, optimální vlhkost
- stanovení poměru únosnosti CBR – bez saturace a po saturaci zeminy
- IBI neupravené zeminy

Podrobný návrh úpravy se stanoví během orientačních průkazných zkoušek. Ověření výsledků orientační průkazní zkoušky se provádí v průběhu realizace stavby, nejčastěji před zahájením stavebních prací v konkrétním úseku. Při ověření návrhu úpravy, se požaduje použití stejného pojiva, které bylo použito při orientačních průkazných zkouškách. Jestliže se zhotovitel stavby v odůvodněném případě rozhodne použít jiné pojivo, je povinen provést nové průkazní zkoušky v plném rozsahu. Změnu pojiva musí odsouhlasit správce stavby. [7]

Okamžitý poměr únosnosti IBI směsi zemin a pojiva a poměr únosnosti CBR směsi zemin a pojiva se provádí podle ČSN EN 13 286-47. Hodnoty IBI a CBR upravené zeminy jsou pro podloží násypu a násyp uvedeny v tabulce 3. Pro aktivní zónu v tabulce 4.

Pro účely návrhu geotechnických konstrukcí a konstrukcí vozovek je nutno stanovit parametry smykové pevnosti (ČSN CEN ISO/TS 17 892-10) a tuhosti upravené zhutněné zeminy (ČSN CEN ISO/TS 17 892-5). [7]

Způsob použití	Požadované hodnoty <sup>1)</sup>	
	Okamžitý index únosnosti	CBR
Podloží násypu	min IBI <sub>10</sub>	-
Každá technologická vrstva násypu	min IBI <sub>10</sub>	-
Zhutňující vrstva násypu vrstevnatého, z váteho písku, z popílku upraveného pojivy	-	min. CBR <sub>15</sub> <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> podle ČSN EN 14 227-10, 11, 12, 13 a 14, stanovené při vlhkosti W <sub>opt</sub> . <sup>2)</sup> Zhotovení a zrání zkušebního tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14 227-10 až 14.		

*Tabulka 3: Požadované hodnoty poměru únosnosti upravených zemin v násypu a podloží násypu [7]*

V průběhu etapy zpracování projektové dokumentace je vhodné řešit otázku namrzavosti upravených zemin. Použití namrzavých zemin v aktivní zóně není možné. Z toho

důvodu se zemina v aktivní zóně se posuzuje na namrzavost (ČSN 72 1191). Hloubka promrzání souvisí s celkovou konstrukcí vozovky a mrazovým indexem dané lokality.

;Způsob použití		Požadované hodnoty <sup>1)</sup>		
		CBR <sup>3)</sup>	Minimální vlhkost směsi	Okamžitý index únosnosti
Aktivní zóna <sup>2)</sup>	Podloží PIII	CBR <sub>15</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží PII	CBR <sub>30</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží PI	CBR <sub>50</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
<sup>1)</sup> Kategorie podle ČSN EN 14 227-10, 11, 12, 13 a 14. <sup>2)</sup> PI, PII, PIII jsou typy podloží podle předpisu TP 170 <sup>3)</sup> Zhotovení a zrání zkušebního tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14 227-10 až 14.				

*Tabulka 4: Požadované hodnoty únosnosti CBR a IBI pro upravené zeminy pro aktivní zónu [7]*

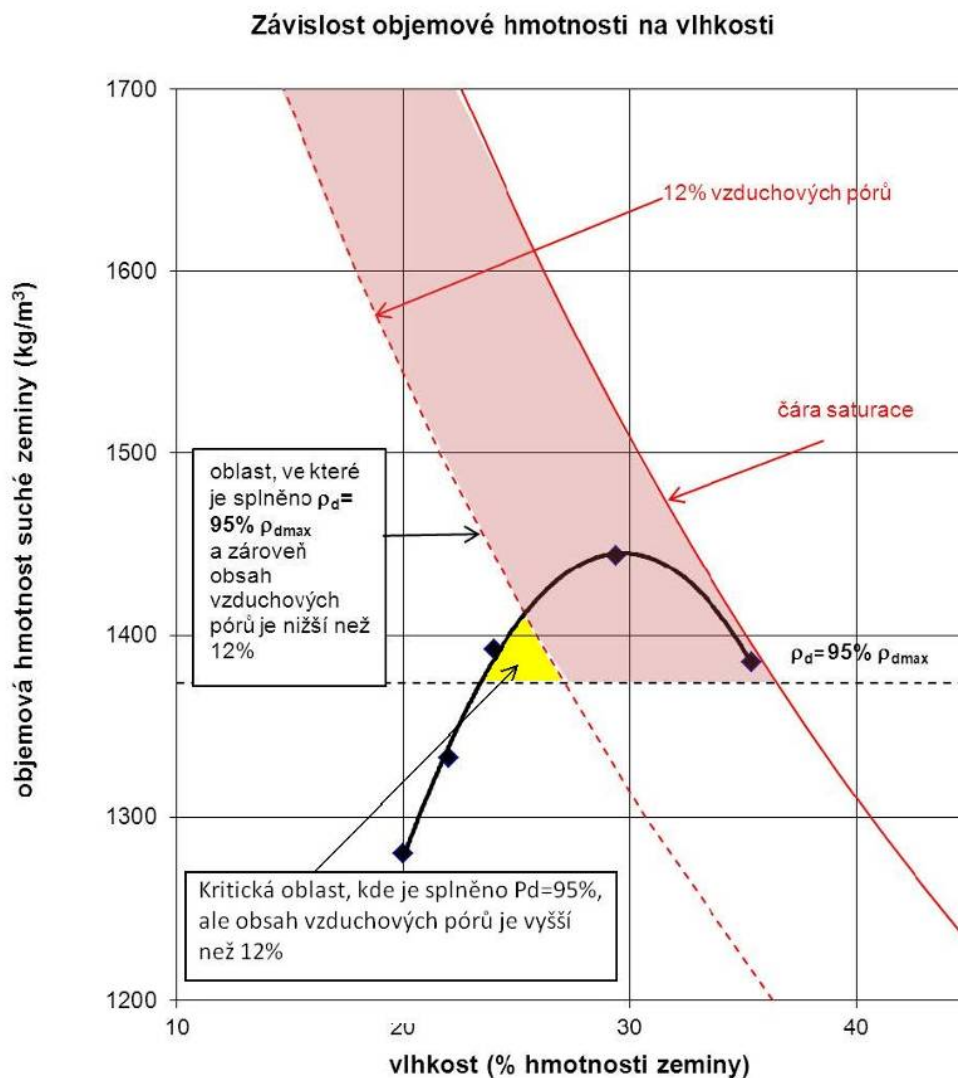
Při úpravách zemin vápnem s vlhkostí nižší než je optimální (zeminy na „suché straně“ Proctora), dochází k dalšímu vysoušení po úpravě. Tyto zeminy mohou po zhutnění obsahovat vyšší podíl vzduchových pórů (názorně je vztah obsahu vzduchových pórů prezentován na obrázku 4). Proto musí být v těchto případech prováděna kontrola obsahu vzduchových pórů. Je nutné navíc ověřit spotřebu pojiva, aby nedocházelo k jeho předávkování. To může v případě vápna vést i ke zvětšování objemu a následnému vzniku deformací v konstrukci. Určitou alternativou je zvýšení obsahu vody v zemině, které vede k úplné hydrataci veškerého použitého pojiva. Průkazními zkouškami „suchých zemin“ (často se jedná o poloskalní horniny – zvětralé jílovce, slínovce) je nezbytné ověřit následující parametry:

- podíl pojiva, které se nespotřebovalo při úpravě (týká se zejména vápna a pojiv s vysokým obsahem vápna)
- objemové změny upravené zeminy
- dosažená míra zhutnění a objem vzduchových pórů v upravené zemině (musí být nižší než 12 %)

Pokud existují jakékoliv pochybnosti o účinnosti úpravy „suchých zemin“, musí se přistoupit k jinému technickému řešení (přidání vody, úprava vápenným mlékem). [9]



Poloskalním horninám (jílovce, slínovce) je rovněž nutné věnovat větší pozornosti. Při jejich strojním mísení s pojivem dochází k jejich rozpadu na zeminy s nižší vlhkostí. Nabízí se stejný postup jako při úpravách „suchých zemin“. [9]



Obrázek 4: Závislost objemové hmotnosti suché zeminy na vlhkosti zeminy s vyznačením obsahu vzduchových pórů [9]

## 2.5 Technologické postupy prací při úpravě zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy

Metodika při úpravách zemin - ať už jde o vápno, cement, či hydraulická silniční pojiva - je ve své podstatě totožná. Svá specifika doznává spíše podle konstrukčního celku, kde jsou úpravy prováděny, jde-li o násyp, podloží násypu, zářez nebo aktivní zónu, případně konstrukční vrstvy.

Před započatím zemních prací a úprav zemin je nutné vypracovat technologický předpis. Technologický předpis musí, kromě základních identifikačních údajů o stavbě, obsahovat:

- popis části stavebního objektu, pro jehož účely je technologický předpis vydán
- popis technologie provádění a specifických úkonů úpravy zemin
- seznam navržených strojů a mechanizací
- popis materiálů s odkazem na provedené průkazní zkoušky
- výsledky zhutňovací zkoušky
- rozsah kontrolních zkoušek
- klimatická omezení
- pokyny pro bezpečnost práce a ochrany zdraví při práci a environmentální požadavky



*Obrázek 5: Vrstvení zeminy před úpravou - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]*

### 2.5.1 Stroje a stavební mechanizace pro úpravu zemin

Pro úpravu zemin se využívají na stavbách běžně používané stroje a zařízení a speciální stroje a zařízení určená výhradně pro potřeby úpravy zemin. Jde o následující stroje a techniku:

- dávkovače pojiv
- zemní mísící frézy
- buldozery nebo grejdry na úpravu pracovní vrstvy
- zhutňovací prostředky
- kropící stroje pro úpravu vlhkosti

Pojivo se dávkuje pomocí, k tomuto účelu určených speciálních dávkovačů. Ty jsou buď samojízdné, nebo tažené (např. za traktorem). Pojivo se do dávkovačů plní pomocí velkoobjemových přepravníků přímo od výrobce/dodavatele pojiva. Dávkování je přesně řízeno s ohledem na rychlost pojezdu a obvyklá šířka pracovního záběru je okolo 2 - 2,5 m. Množství dávkovaného pojiva lze kontrolovat buďto přímo na stroji, nebo v rámci kontrolních zkoušek pomocí vážícího plechu. [7]



*Obrázek 6: Dávkovač pojiva při práci - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]*

K promísení zeminy s pojivem slouží zemní frézy. Mísení a nakypření zeminy umožňují frézovací nože umístěné na frézovacím rotoru, který je z důvodu snížení prašnosti opatřen krytem. Rotor je pro vertikální manipulaci opatřen hydraulikou. Hloubku mísení lze nastavit. Maximální hloubka promísení je běžně 0,50 m, což je ovlivněno účinností hutnících prostředků. Frézy mohou být buď integrované, nebo závěsné - v tom případě jsou připojeny za traktor.

K rozprostírání a srovnání zeminy se používá grejdr nebo buldozer. Vhodnost použití závisí na konstrukčním celku upravované vrstvy. Hutnění ovlivňuje velikost manipulačního prostoru a požadavky na zhutnění. Používají se standardní zhutňovací prostředky. Těžké vibrační válce jsou vhodné pro hutnění běžných vrstev násypu a pneumatické válce pro finální konstrukční vrstvy. V prostorově omezených místech se používají hutnící desky. [7]

### **2.5.2 Provádění úprav zemin vápnem a hydraulickými silničními pojivy**

Při provádění úpravy zemin se nejprve na upravený, srovnaný pracovní úsek naveze neupravená zemina, která se posléze rozprostře do vrstvy. Tloušťka vrstvy se odvíjí od schopností hutnící technologie a hloubky záběru frézy. Nejčastěji se tvoří vrstva tloušťky 0,5 m. Velikost pracovní plochy je limitována technologickými možnostmi zpracování v průběhu jednoho pracovního cyklu (směny).

Podle výsledků zjištěné vlhkosti neupravené zeminy se, ve smyslu TP 94, upravuje vlhkost zeminy kropením. Pomocí dávkovačů se vrstva pokryje určeným množstvím pojiva. Dávkovače musí být schopny zabezpečit rovnoměrné rozprostření pojiva na povrchu s přesností  $\pm 10\%$ . Smísení pojiva a zeminy provádí fréza. Během mísení zeminy s pojivem pomocí zemní frézy je nutno kontrolovat promísení vrstvy v celé tloušťce. Dále se musí sledovat výskyt nežádoucích poruch, segregovaných míst, homogenita a hrudkovitost zpracované zeminy. V případě výskytu těchto nedostatků nutno opakovat pojezdy zemní frézy. [7]



*Obrázek 7: Zemní fréza při mísení pojiva - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]*

Hutnění promísené vrstvy musí následovat bezprostředně po mísení. Množství pojezdů vibračními prostředky odpovídá výsledkům zhuťovací zkoušky dle ČSN 72 1006. Požadovaná míra zhuťnění musí být dosažena v celé tloušťce a ploše zhuťňované vrstvy a musí vyhovovat požadavkům uvedeným v projektové dokumentaci.

Na upravené vrstvě se provádějí kontrolní zkoušky. Po upravené vrstvě je nutné omezit pohyb staveništní dopravy. Ve výstavbě další vrstvy upravené pojivy je možné pokračovat po technologické přestávce nebo takovým způsobem, kdy není na této vrstvě pohyb techniky.

Klimatická omezení při úpravách zemin jsou popsána v ČSN 73 6133 a TKP 4. Není dovoleno používat zmrzlé zeminy. Stejně tak je zakázáno budovat násyp na vrstvě zeminy promrzlé do hloubky větší než 0,5 m či na zmrzlém podloží. Při sněžení nebo mrznoucích deštích se musí práce přerušit. Vrstva, na kterou je navážena vrstva další, musí být zbavena sněhu a ledu. Pokud je nutné práci v zimním období přerušit, překrývá se upravená zemina ochrannou vrstvou. Zeminy upravené vápnem se mohou zpracovávat při teplotách do -5 °C a zeminy upravené cementem do 0 °C. Norma i předpis zdůrazňují, že se jedná se o teploty zeminy. [7]

### **2.5.3 Úpravy zemin v podloží násypu**

Nejprve se musí odstranit veškerá vegetace, ornice a podornice v místě podloží násypu. Následně se povrch vyspáruje a upraví tak, aby bylo zajištěno odvodnění povrchu dle projektové dokumentace. Úprava zemin v podloží násypu se zpravidla provádí v jedné vrstvě. Úprava zemin v podloží násypu je vhodná u násypů výšky do 3 m a v případě výskytu neúnosného podloží, kdy úprava slouží k tomu, abychom se mohli po stavbě vůbec pohybovat. Úprava zemin pod vysokými násypy je kontraproduktivní, protože vytvoříme „pevnou“ desku, která je technicky nepropustná a omezuje uvolňování vody z podloží a prodlužuje dobu konsolidace.

Jelikož zhotovitel musí prokázat, že předepsané zhutnění bude dosaženo v požadované tloušťce prováděné vrstvy, doplňuje se zhutňovací zkouška o měření hloubky promísení a zhutňovací zkouška se provádí na vzorku odebraném v požadované hloubce. Kontrola promísení se provádí vždy, nejen pod násypem. [7]

Samotný postup při úpravě zemin je popsán v kapitole 2.5.2.

### **2.5.4 Úpravy zemin v zářezu**

Úprava zemin v zářezu vyžaduje podrobné znalosti hydrogeologických poměrů. Pokud existují pochybnosti o vodním režimu a proudění podzemních vod, musí se před zahájením úprav zemin provést doplňkový geotechnický průzkum.

Úprava zemin vápnem nebo hydraulickými silničními pojivy s vysokým obsahem vápna může být doprovázena sáním ze zvodněných vrstev. Důsledkem sání může dojít k degradaci, rozpadu, snížení únosnosti a k objemovým změnám upravených zemin. Problematika sání upravených zemin není dosud dostatečně popsána a vyžaduje proto v odůvodněných případech specifický přístup, například kontrolní zkoušky sání, poloprovozní zkoušky a jiné technické přístupy. [9]

Samotný postup při úpravě zemin je popsán v kapitole 2.5.2.



### 2.5.5 Úpravy zemin v násypu

Těleso násypu je budováno po vrstvách. Tloušťku vrstev ovlivňují možnosti hutnících prostředků. Násypový materiál může být tvořen sypaninou neupravovanou, upravenou zemínou nebo může být budován vrstevnatý násyp se střídáním upravené a neupravené zeminy. Postup při úpravě zemin je popsán v kapitole 2.5.2. Zemina se však může upravovat i mimo vlastní násyp a teprve poté se upravená zemina doveze na místo určení, rozprostře a zhutní. Další vrstvu násypu lze realizovat, až jakmile původní vrstva splňuje předepsané parametry, které jsou prokázány příslušnými zkouškami dle KZP (kontrolní a zkušební plán). [7]

### 2.5.6 Úpravy zemin v aktivní zóně

Úprava zemin v aktivní zóně vyžaduje vyšší požadavky na zhutnění. Z tohoto důvodu se doporučuje mísení pojiva zemní frézou ve dvou vrstvách o nižší tloušťce. Obvykle se v aktivní zóně používá větší množství pojiva, než je tomu například u vrstev násypu, přestože jde o zeminu stejných parametrů. [7]

Postup úpravy zemin je stejný jako v kapitole 2.5.2. Pokud jde o aktivní zónu v zářezu, jsou specifické podmínky postupu popsány v kapitole 2.5.4.

Při hutnění se postupuje následujícím způsobem. V případě střežovitého sklonu se zhutňuje směrem od krajů ke středu. Je-li sklon pláň jednostranný, hutnění začíná na nižším okraji k vyššímu okraji, který je vhodný zhutnit dopředu. Požadovaná míra zhutnění pro zeminy upravené pojivem v aktivní zóně je minimálně  $D = 100 \%$  a musí jí být dosaženo v celé tloušťce vrstvy. Zeminu v aktivní zóně je nutno posoudit na nenamrzavost. Zeminy upravené pojivem se posuzují dle normy ČSN 72 1191. U komunikací s dopravním zatížením třídy VI se posouzení namrzavosti provádět nemusí. [7]

## 2.6 Průkazní zkoušky

Průkazní zkoušky musí provádět akreditovaná laboratoř. Průkazní zkoušky popisují vlastnosti materiálů (zemín a pojiv) a upravené zeminy.

Geotechnický průzkum lze považovat za průkazní zkoušky zeminy, které lze v případě nutnosti před zahájením zemních prací ověřit. V tabulce 5 je uveden rozsah průkazních zkoušek pro zeminy používané do tělesa násypu i do aktivní zóny (ČSN 73 6133). K ověřování průkazních zkoušek se vyberou jen ty, které je pro dané použití zeminy vhodné použít. [7]

Při návrhu úpravy zemín se zjišťuje:

- chemické a mineralogické složení zeminy
- vlhkost zeminy
- zrnitost zeminy
- číslo plasticity  $I_p$
- zhutnitelnost podle Proctor Standard nebo relativní hutnost
- poměr únosnosti CBR a IBI, lineární bobtnání při zkoušce CBR
- namrzavost



Obrázek 8: Měření objemové hmotnosti - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]

Vlastnost		Požadavek	Zkouška	Požadavek zkoušky
Zrnitost		kritéria použitelnosti podle tab. 1	ČSN CEN ISO/TS 17892- 4	Při mechanické úpravě.
Číslo nestejnorodosti			Příloha A ČSN 73 6133	Jen pro S nebo G.
Maximální obj. hmotnost (Proctor Standard)		deklarovaná hodnota	ČSN EN 13286-2	U zemin jemnozrnných nebo směsí zemin jemnozrnných a hrubozrnných kde lze zkoušku provést.
Optimální vlhkost (dtto)				
CBR	aktivní zóna	<u>podloží CBR</u> P III 15 % P II 30 % P I 50 %	ČSN EN 13286-47	Platí i pro ztužující vrstvu vrstevnatého násypu. Zhotovení a zrání zkušebního tělesa se provádí dle příslušné ČSN EN 14227-10 až 14.
IBI	aktivní zóna	deklarovaná hodnota		Pro účely kontrolních zkoušek. Zkouší se bezprostředně po zhotovení násyp a zkušebního úseku.
	násyp a podloží násypu	min. 10%		
Objemové změny (bobtnání)	aktivní zóna	max. 3 %	ČSN EN 13286-47	Lineární bobtnání při zkoušce CBR.
Namrzavost	aktivní zóna	deklarovaná hodnota	zrnitostní kritérium (obr.A.1 ČSN 736133)	V případě pochyb nebo pro zeminy upravené pojivy. Zkouška dle ČSN 721191.

Tabulka 5: Průkazní zkoušky upravených zemin [7]

Zeminy, které se upravují, se ověřuje a posuzuje následující:

- vlhkost zeminy před dávkováním pojiva a vlhkost směsi po dávkování pojiva (do 90 minut po dávkování)
- zrnitost zeminy před dávkováním pojiva
- číslo plasticity  $I_p$  před dávkováním pojiva
- zhutnitelnost podle Proctor Standard po dávkování pojiva
- dávkování pojiva

Stanoví se pro tři zvolené vlhkosti v přirozeném stavu. Pro každou zvolenou vlhkost a tři různé dávky pojiva se provede zkouška CBR na zemině. Výsledkem je stanovení závislosti dávkování pojiva na vlhkosti zeminy a hodnotě CBR.

- bobtnavost
- IBI

V aktivní zóně se prokazuje:

- objemová stálost upravené zeminy zkouškou bobtnání postupem dle TP 93, resp. ČSN EN 13286-47
- laboratorní stanovení namrzavosti upravených zemin v aktivní zóně podle ČSN 72 1191 (pouze pokud tento požadavek vyplývá z TP 170)

Obsah pojiva je uváděn v procentech a v hmotnosti dávkování na tloušťku promísené vrstvy. Množství pojiva v kg na 1 m<sup>2</sup>, je-li znám procentuelní podíl pojiva, vypočteme pomocí vztahu:

$$m = \frac{h \cdot A \cdot \rho_{d \max}}{100} \cdot p \quad (1)$$

m – hmotnost pojiva na jednotku plochy (kg)

h – hloubka záběru zemní frézy, resp. tloušťka upravované vrstvy (m)

A – plocha, pro kterou určujeme dávkování (m<sup>2</sup>)

$\rho_{d \max}$  – maximální objemová hmotnost neupravené zeminy podle Proctor Standard (kg/m<sup>3</sup>)

p – dávka pojiva (%)

Výsledný návrh směsi a její kontrolní zkoušky se ověří zhutňovací zkouškou podle ČSN 72 1006. [7]

## 2.7 Kontrolní zkoušky

I v případě kontrolních zkoušek platí, že je smí provádět pouze akreditovaná laboratoř. Na stavbách pozemních komunikací může zkoušky provádět i laboratoř splňující požadavky SJSPK (Systém jakosti staveb pozemních komunikací). Kontrolními zkouškami kontrolujeme, jestli se vlastnosti a stav zeminy shodují s průkazními zkouškami a odpovídají předpokladům projektové dokumentace. Kontrolní zkoušky se provádějí podle požadavků ČSN 73 6133 a TKP 4. V tabulce 6 je uveden přehled kontrolních zkoušek pro směsi čerstvě upravených zemin. [7]

Na vrstvě upravené zeminy se při zahájení stavby provádí zhutňovací zkouška (ČSN 72 1006). Z výsledků zhutňovací zkoušky se ověřují předpoklady vycházející z laboratorních zkoušek. Zejména se ověřuje navržená zhutňovací technologie, tedy:

- tloušťka vrstvy před zhutněním
- typ zhutňovacího prostředku
- počet pojezdů zhutňovacího prostředku apod.

Výsledné parametry zhutnění se ověří zkouškou. Dále se provádí kontrola hloubky promísení a dávkování pojiva. Je nutné, aby při budování zemního tělesa a jeho hutnění byly použity stejné typy hutnících prostředků jako u zhutňovací zkoušky. [7]

Vlastnost		Požadavek	Četnost <sup>1), 2)</sup>
Minimální vlhkost <sup>1)</sup>		W <sub>0,90</sub>	1 × na 10.000 m <sup>3</sup>
IBI min.	aktivní zóna	minimální deklarovaná hodnota	1 × na 10.000 m <sup>3</sup>
	násyp	min. 10 %	1 × na 10.000 m <sup>3</sup>
<sup>1)</sup> Podle ČSN EN 14 227-10, ČSN EN 14 227-11, ČSN EN 14 227-12, ČSN EN 14 227-13, ČSN EN 14227-14 <sup>2)</sup> Uvedené údaje tabulky platí pro homogenní poměry. Při změně materiálu se musí provést všechny zkoušky. Při změně konzistence se stanoví pouze vlhkost.			

Tabulka 6: Kontrolní zkoušky čerstvé směsi upravených zemin [7]

Hloubka promísení, při použití vápna nebo pojiva s obsahem vápna, se provádí pomocí roztoku fenolftaleinu (1g indikátoru v 80 ml lihu zředit vodou na 100 ml) v kopané sondě



(na obrázku 9). Roztok se nastříká na upravenou zeminu od spodu sondy směrem nahoru. Výsledkem je barevný efekt. Zemina s obsahem Ca - iontů zřívá. Četnost zkoušek hloubky promísení je uvedena v tabulce 7. Kontrolu hloubky promísení roztokem fenolftaleinu lze provést i při použití hydraulických silničních pojiv s obsahem vápna a vápenatých popílků.



*Obrázek 9: Kontrola hloubky promísení pojiva roztokem fenolftaleinu - Silnice I/11  
Prodloužená Rudná [0]*

Konstrukční prvek	Četnost
podloží násypu	1 × 5.000 m <sup>2</sup>
násyp	1 × 3.000 m <sup>2</sup> nebo 1 × 2.000 m <sup>3</sup>
zemní pláň	1 × 2.000 m <sup>2</sup>
aktivní zóna	1 × 2.000 m <sup>2</sup> nebo 1 × 1.000 m <sup>3</sup> (V případě aktivní zóny složené ze dvou vrstev se kontroluje pouze vrstva spodní. Horní vrstva se kontroluje jako pláň).

*Tabulka 7: Kontrola hloubky promísení – četnost zkoušky [7]*



Dávkování pojiva se ověřuje pokaždé při jeho aplikaci s neupravenou zeminou. Měření se provádí vážením nadávkovaného pojiva z dávkovače na známou plochu. Obvykle se jedná o měřicí plech nebo plechovou vaničku. Množství dávkovaného pojiva je rovněž možné zjistit pomocí chemické analýzy na již hotové upravené zemině.

Kvalitu pojiva musí kontrolovat výrobce. Nevhodnou manipulací nebo skladováním však může dojít k jeho předčasné částečné hydrataci. Takové pojivo následně reaguje se zeminou pomaleji nebo pouze částečně. Panují-li o kvalitě pojiva pochybnosti, je na místě odebrat vzorek z dávkovače a provést kontrolní zkoušky, zda pojivo vykazuje parametry deklarované výrobcem. Doporučuje se takto kontrolovat 1 × při 10.000 m<sup>3</sup> upravené směsi. [7]

Hrulkovitost zeminy se posuzuje vizuálně na frézou čerstvě promísené směsi. Hrudky by neměly překročit průměr o velikosti 25 mm. Hrulkovitost se kontroluje po každém cyklu úpravy před hutněním. [7]

V tabulkách 8, 9, a 10 je uveden přehled kontrolních zkoušek prováděných během a po dokončení budování zemního tělesa z upravených zemin.

Vlastnosti / Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost <sup>1)</sup>
Vlhkost	jemnozrnné zeminy	Odchylky od $w_{opt}$ -5 % až +3 %	ČSN CEN ISO/TS 17892-1	$1 \times 1.250 \text{ m}^2$ nebo $500 \text{ m}^3$
Míra zhutnění dle objemové hmotnosti (parametr D)	podloží násypu	92 % PS	ČSN 72 1006	$1 \times 4.000 \text{ m}^2$ nebo $1.500 \text{ m}^3$ a při každé změně sypaniny, u homogenní sypaniny min. $3 \times$ denně
	násyp z jemnozrnných (F) nebo písčitých zemín (SW, SP, SF) nebo popílku	95 % PS		
	aktivní zóna / zemní plán	100 % PS		
Minimální vlhkost	zeminy upravené	$w_{0,90}$	ČSN CEN ISO/TS 17892-1	$1 \times 10.000 \text{ m}^3$ nebo $1 \times$ denně
CBR	ztužující vrstva vrstevnatého násypu	min. 15 %	ČSN EN 13286-47	
IBI	aktivní zóna	min. deklar. hodnota		
	násyp	min. 10 %		
	podloží násypu	min. 10 %		

<sup>1)</sup> Jsou-li uvedena 2 kritéria, musí být splněno přísnější kritérium

<sup>1)</sup> Jsou-li uvedena 2 kritéria, musí být splněno přísnější kritérium

Tabulka 8: Kontrolní zkoušky při provádění a po dokončení zemního tělesa z upravených zemin (viz tab. 10b ČSN 73 613) [7]

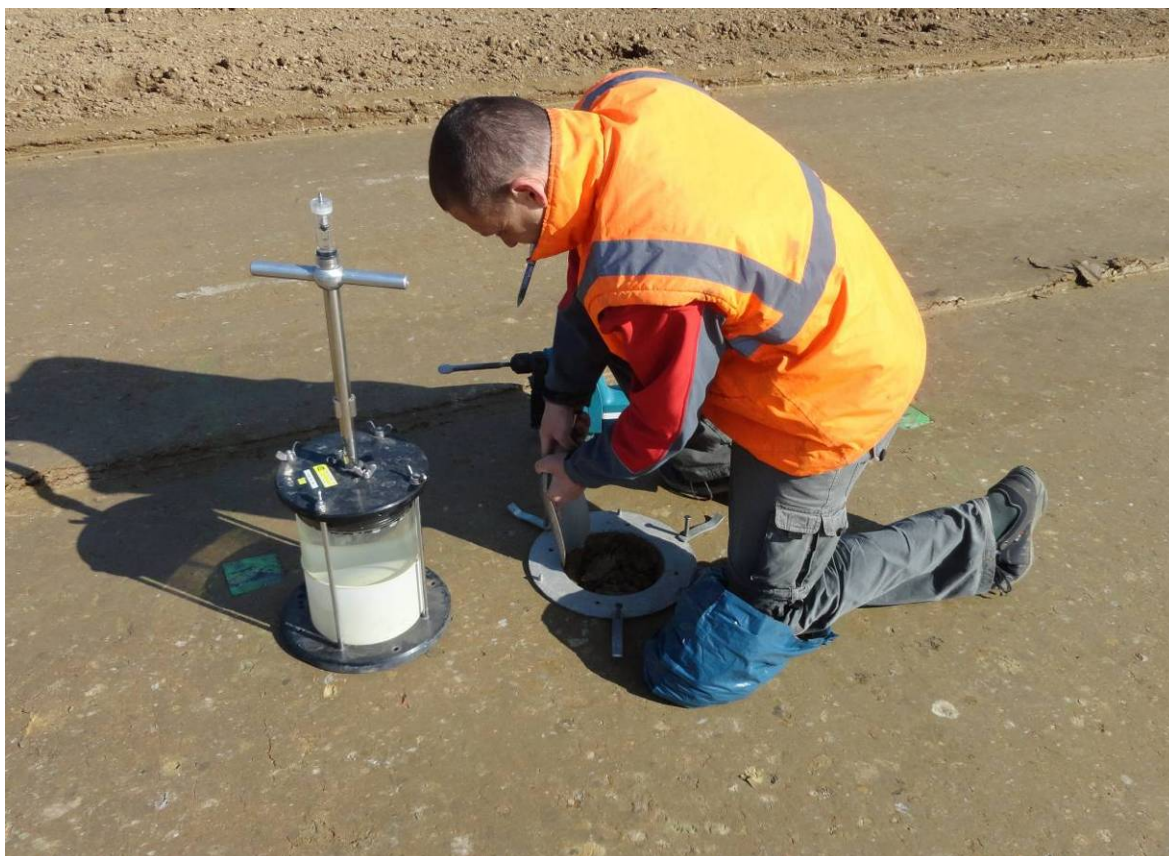
Vlastnost / Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost
Modul přetvárnosti $E_{\text{def},2}^*$	CBR > 15 % (PIII)	45 MPa **	ČSN 72 1006	1× na 100 bm dopravního pásu, popř. 1× na 1000 m2 ostatních ploch
	CBR > 30 % (PII)	60 MPa		
	CBR > 50 % (PI)	90 MPa		
* Prokázání minimálních hodnot CBR pro uvedené typy podloží vozovek nemusí zaručit dosažení požadovaného modulu přetvárnosti				
** Pro vozovky s dopravním zatížením třídy VI nebo s návrhovou úrovní porušení D2 platí min. 30 MPa				

*Tabulka 9: Kontrolní zkoušky na zemní pláni pro zeminy upravené (viz tab. 11 ČSN 73 6133) [7]*

Výsledky zkoušek musí charakterizovat kontrolovaný úsek a současně postihnout případná slabá místa s nedostatečnou kvalitou zpracování. [7]

Vlastnost / Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost
Stejnomořnost a hloubka promísení	zeminy upravované pojivy		TP 94	podloží násypu – 1×5.000 m <sup>2</sup> , násyp – 1×3.00m <sup>2</sup> nebo 1×2.000 m <sup>3</sup> , aktivní zóna – 1 x 2.000 m <sup>2</sup> nebo 1× 1.000 m <sup>3</sup> (v případě aktivní zóny složené ze dvou vrstev se kontroluje pouze vrstva spodní. Horní vrstva se kontroluje jako pláň), zemní pláň – 1×2.000 m <sup>2</sup>
Dávkování pojiva	zeminy upravované pojivy	± 10 % od předepsaného množství	TP 94	1× 500 m <sup>2</sup> nebo při každé dodávce
Hrudkovitost	zeminy upravované pojivy	průměr hrudky max. 25 mm	TP 94	po každém cyklu úpravy
Zkoušky pojiva	zeminy upravované pojivy	parametry stanovené výrobcem	TP 94	1× 10.000 m <sup>3</sup>

*Tabulka 10: Kontrolní zkoušky při úpravě zemin pojivy [7]*



*Obrázek 10: Měření objemové hmotnosti jamkovou metodou při zhutňovací zkoušce – Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]*

### 3. Experimentální část

#### 3.1 Průkazní laboratorní zkoušky při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“

Pro stavbu „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ byla projektovou dokumentací zvolena technologie úpravy zemin vápnem. Návrh předpokládal aplikaci sypkého nehašeného vápna  $\text{CaO}$  metodou úpravy přímo v místě stavby. Podkladem k provedení průkazních zkoušek byly výsledky geotechnického průzkumu.

Vyrovnaná bilance hmotnice stavby vyžadovala využití i málo vhodných zemin ze zářezů do násypů. Nejvíce zastoupenou zeminou v trase byly sprašové hlíny. Z geotechnického hlediska představují sprašové hlíny homogenní, zrnitostně izotropní horninové prostředí s konstantní klasifikační charakteristikou tř. F6 (CL, CI), což je jíl s nízkou nebo střední plasticitou (ČSN 73 6133). Vzhledem k vysokému obsahu jemnozrnné frakce jsou optimální zeminou pro úpravu pojivy. [6]



Obrázek 11: Vážení vzorku zeminy v laboratoři TPA [0]





Obrázek 12: Kopaná sonda K2. SO 101 - zářez v km 6,320 - silnice I/57  
Hladké Životice - obchvat [6]

### 3.1.2 Výsledky průkazních laboratorních zkoušek při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“

Odběr zkušebních vzorků sprašových hlín byl proveden 18. 4. 2007. Byly provedeny dvě kopané sondy K1 v km 0,200 (SO 120) a km 6,320 (SO 101) v hloubce 0,3-0,8 m.

č. sondy	hloubka odběru (m)	terénní vlhkost vzorku $w_n$ (%)	vlhkost vzorku CBR $w$ (%)		vlhkost navážky pro směsi s CaO $w$ (%)	
K1	0,3-0,8 m	21,9	22,0 <sup>1)</sup>	21,1 <sup>2)</sup>	22,0 <sup>3)</sup>	21,8 <sup>4)</sup>
K2	0,3-0,8 m	19,2	19,1 <sup>1)</sup>	18,6 <sup>2)</sup>	19,0 <sup>3)</sup>	18,8 <sup>4)</sup>
<sup>1)</sup> před zhutněním v mozdíři CBR <sup>2)</sup> po zkoušce CBR <sup>3)</sup> vlhkost navážky <sup>4)</sup> vlhkost dílčího vzorku zkoušky zhutnitelnosti (Proctorova zkouška)						

Tabulka 11: Vlhkosti průkazních vzorků zeminy [6]

Klasifikační rozbor vzorků K1 a K2 (tabulka 12) se shodoval s výsledky, které byly stanoveny během etapy podrobného geotechnického průzkumu. Sprašové hlíny byly klasifikovány jako jíl s nízkou plasticitou tř. F6 (CL). [6]

Průkazní zkoušky prosté zeminy byly prováděny na navážkách obou technologických vzorků. Z technologického vzorku sondy K1 byly připraveny vzorky pro průkazní zkoušky směsi zeminy s CaO. Zkoušky CBR na vzorcích prosté zeminy a promísené směsi prováděla zkušební laboratoř TPA ČR s.r.o.

<b>sonda č.</b>	<b>K1 (0,3-0,8 m)</b>	<b>K2 (0,3-0,8 m)</b>
terénní vlhkost $w$ (%)	<b>21,9</b>	<b>19,2</b>
vlhkost na mezi tekutosti $w_L$ (%)	<b>34,4</b>	<b>27,2</b>
vlhkost na mezi plasticity $w_p$ (%)	<b>19,9</b>	<b>19,3</b>
číslo plasticity $I_p$ (%)	<b>14,5</b>	<b>7,9</b>
obsah štěrkové frakce $g$ (%)	<b>0,6</b>	<b>3,2</b>
obsah písčité frakce $s$ (%)	<b>3,6</b>	<b>25,3</b>
obsah jemnozrnné frakce $f$ (%)	<b>95,8</b>	<b>71,5</b>
obsah jílové frakce $c$ (%)	<b>16,0</b>	<b>11,1</b>
zdánlivá hustota pev.částic $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,691</b>	<b>2,650</b>
číslo konzistence $I_c$ (1)	<b>0,86</b>	<b>1,01</b>
Scheibleho kritérium namrzavosti	<b>nebezpečně namrzavá</b>	<b>nebezpečně namrzavá</b>

*Tabulka 12: Fyzikální vlastnosti odebraných vzorků [6]*

Zkouškou zhutnitelnosti (tabulka 13) bylo prokázáno, že zeminy obou vzorků jsou při terénní vlhkosti zhutnitelné nad hodnotu normového kritéria pro technologické vrstvy násypu z jemnozrnných zemin  $D \geq 95$  % PS (Proctor Standard).

Z dílčích navážek technologického vzorku zeminy ze sondy K1 byly připraveny směs zeminy s 0,5 a 2,0 % CaO. Jako nestandardní byla připravena směs zeminy s 30 % drceného vápence 0/8 Štramberská (CaCO<sub>3</sub>). Jednalo se o mechanickou úpravu s předpokladem nízkého tmelícího účinku vápence. [6]

sonda K1 - sprašová hlína	
maximální suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1710
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	17,6
terénní vlhkost $w_n$ (%)	22,0
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_n - w_{opt}$ (%)	4,4
dosažitelná míra zhutnění D (% PS) při $w_n$	97
sonda K2 - sprašová hlína	
maximální suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1790
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	14,6
terénní vlhkost $w_n$ (%)	19,0
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_n - w_{opt}$ (%)	4,4
dosažitelná míra zhutnění D (% PS) při $w_n$	96
směs s 30 % CaCO <sub>3</sub>	
maximální suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1820
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	15,3
zkušební vlhkost $w_z$ (%)	16,6
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_z - w_{opt}$ (%)	1,3
dosažitelná míra zhutnění D (% PS) při $w_z$	100
směs s 0,5 % CaO	
maximální suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1650
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	19,8
zkušební vlhkost $w_z$ (%)	21,7
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_z - w_{opt}$ (%)	1,9
dosažitelná míra zhutnění D (% PS) při $w_z$	100
směs s 2,0 % CaO	
maximální suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1600
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	21,7
zkušební vlhkost $w_z$ (%)	20,2
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_z - w_{opt}$ (%)	-1,5
dosažitelná míra zhutnění D (% PS) při $w_z$	99

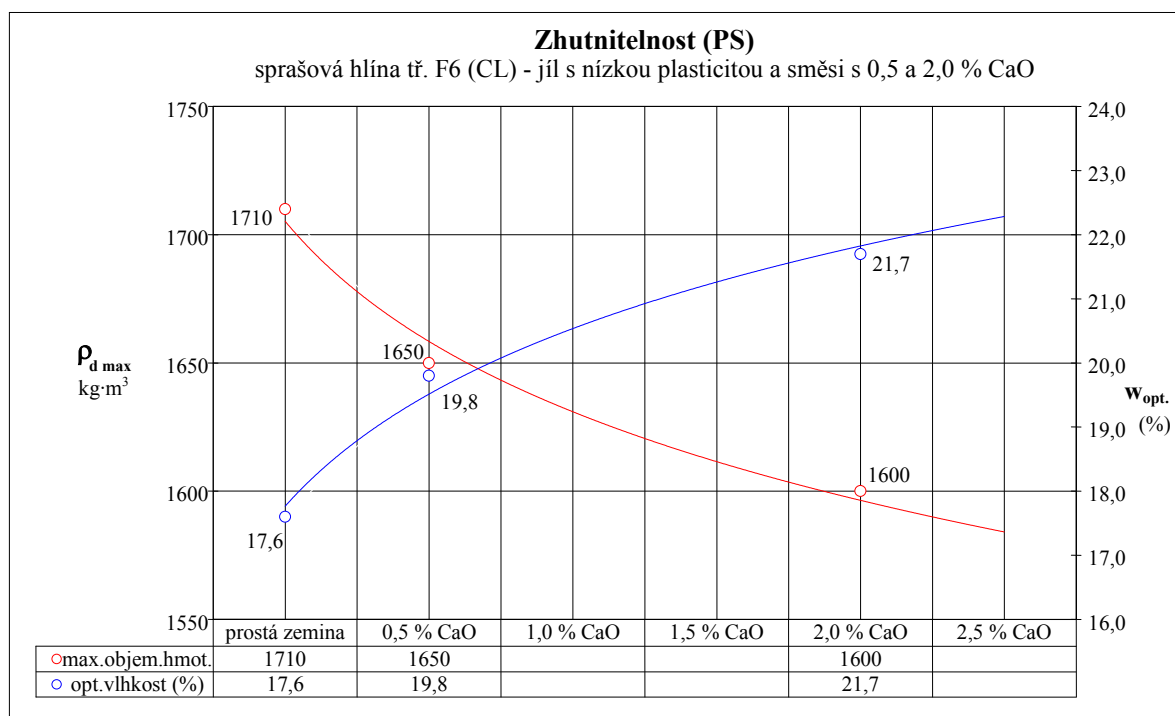
Tabulka 13: Výsledky stanovení zhutnitelnosti [6]

Výsledky stanovení CBR jsou shrnuty v tabulce 14 a jsou zpracovány do grafu (obrázek 14). Z grafu je patrné, že k výraznějšímu zvýšení únosnosti dochází již při dávkování 0,5 % CaO. Tato únosnost splňovala tehdejší normové kritérium pro úpravy zemin v podloží násypu a technologických vrstvách násypu ( $CBR \geq 10\%$ ). Pro dávkování do aktivní zóny bylo navrženo dávku zvýšit na 2 % CaO. V průběhu zkoušky (v režimu pro aktivní zónu) nebyly registrovány žádné objemové změny (směs při nasycení nebobtnala). [6]

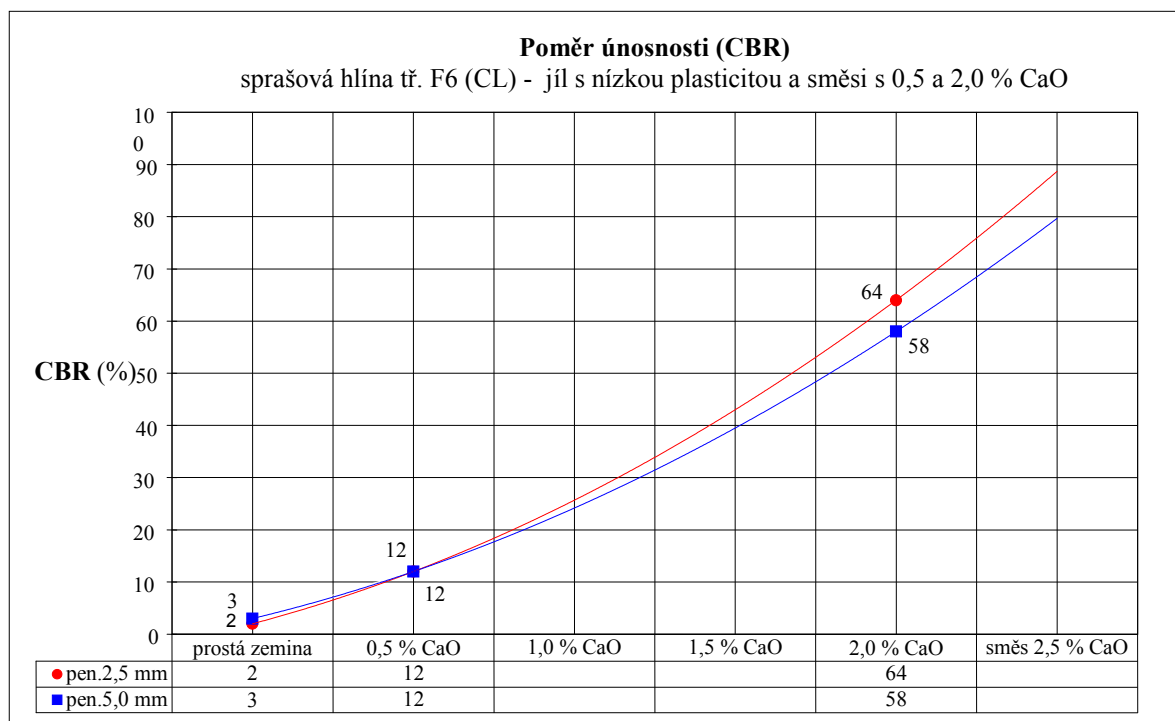


únosnost CBR (%)	1.zk., svrchní penetrace	2.zk., spodní penetrace
při penetr. 2,5 mm	2,3	2,1
při penetr. 5,0 mm	2,8	2,4
výsledek zkoušky CBR <sub>5,0 mm</sub>	3	
vlhkost před a po zkoušce w (%)	22,0	21,1
objem. hmotnost suchá ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1658	
míra zhutnění vzorku D (%)	97	
sonda K2 - sprašová hlína		
únosnost CBR (%)	1.zk., svrchní penetrace	2.zk., spodní penetrace
při penetr. 2,5 mm	1,5	1,5
při penetr. 5,0 mm	1,6	1,7
výsledek zkoušky CBR <sub>5,0 mm</sub>	2	
vlhkost před a po zkoušce w (%)	19,1	18,6
objem. hmotnost suchá ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1703	
míra zhutnění vzorku D (%)	95	
směs s 30 % CaCO <sub>3</sub>		
únosnost CBR (%)	1.zk., svrchní penetrace	2.zk., spodní penetrace
při penetr. 2,5 mm	6,6	7,3
při penetr. 5,0 mm	7,9	9,5
výsledek zkoušky CBR <sub>5,0 mm</sub>	9	
vlhkost před a po zkoušce w (%)	16,5	15,8
objem. hmotnost suchá ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1832	
míra zhutnění vzorku D (%)	101	
směs s 0,5 % CaO		
únosnost CBR (%)	1.zk., svrchní penetrace	2.zk., spodní penetrace
při penetr. 2,5 mm	10,9	13,4
při penetr. 5,0 mm	12,0	12,7
výsledek zkoušky CBR <sub>5,0 mm</sub>	12	
vlhkost před a po zkoušce w (%)	21,8	21,1
objem. hmotnost suchá ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1668	
míra zhutnění vzorku D (%)	101	
směs s 2,0 % CaO		
únosnost CBR (%)	1.zk., svrchní penetrace	2.zk., spodní penetrace
při penetr. 2,5 mm	59,9	67,7
při penetr. 5,0 mm	55,9	60,0
výsledek zkoušky CBR <sub>2,5 mm</sub>	64	
vlhkost před a po zkoušce w (%)	20,2	20,3
objem. hmotnost suchá ρ <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1649	
míra zhutnění vzorku D (%)	103	

Tabulka 14: Výsledky stanovení CBR [6]



Obrázek 13: Graf výsledků zhutnitelnosti Proctor Standard na vzorku prosté zeminy jeho směsích [6]



Obrázek 14: Graf výsledků stanovení CBR [6]

Vzhledem k výsledkům průkazních zkoušek byla při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ vydána doporučení dávkovat v množství 0,5 % CaO pro úpravu zemin v podloží násypu a v technologických vrstvách násypu. Pro aktivní zónu pak 2,0 % CaO, respektive 1,0 % CaO, pokud dokumentace stavby nevyžadovala nenamrzavé kontaktní podloží. [6]

Za účelem oprávněnosti návrhu byla 8. 8. 2007 provedena zhutňovací zkouška. Zkušební pole bylo připraveno ze zemin těžených v km 6,300 stavebního objektu SO 101. Tloušťka vrstvy 0,5 m byla navržena s ohledem na použitý hutnicí prostředek, kterým byl vibrační válec o hmotnosti 20 tun. Na zkušební pole bylo nadávkováno pojivo 0,5 % CaO (jemně mleté bílé nehašené vápno – vápenka Vitošov), což podle výsledků průkazních zkoušek činilo  $4,3 \text{ kg/m}^2$ . Během pokládky pojiva byla provedena kontrola dávkování. Průměrná dávka pojiva ( $5,1 \text{ kg/m}^2$ ) splnila tehdejší toleranční kritérium dle normy ČSN 73 6133 ( $\pm 25 \%$ ). Zpracování pojiva obstarala zemní fréza Wirtgen 2000S jedním pojezdem, hloubka záběru byla nastavena na maximum (0,5 m). Z upravené směsi byl odebrán vzorek pro stanovení vlhkosti a zhutnitelnosti (tabulka 15).

vzorek	směs
maximální objemová hmotnost suchá $\rho_{d \max PS} (\text{kg/m}^3)$	<b>1660</b>
optimální vlhkost $w_{\text{opt PS}} (\%)$	<b>19,5</b>
pracovní vlhkost $w_p (\%)$	<b>17,3</b>
rozdíl vlhkosti $\Delta w = w_p - w_{\text{opt PS}} (\%)$	<b>-2,2</b>
dosažitelná míra zhutnění vzorku D (%) při $w_p = 17,3 \%$	<b>99</b>

*Tabulka 15: Výsledky stanovení zhutnitelnosti [9]*

Na srovnaném zkušebním poli bylo provedeno celkem 8 pojezdů s vibrací. Po 4. pojezdu byl jamkovou metodou (ČSN 72 1010) odebrán vzorek ke stanovení objemové hmotnosti a byla provedena kontrola zhutnění statickou zátěžovou zkouškou (příloha A ČSN 72 1006). Po 8. pojezdu s vibrací byl tento postup zopakován. Statická zatěžovací zkouška byla navíc zopakována po 18 hodinách od úpravy. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 16 a 17. [6]

počet pojezdů	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$w_n$ (%)	$\rho_{d \max PS}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$w_{opt}$ (%)	D (% PS)
4. s vibrací	1772	16,0	1660	19,5	106,7
8. s vibrací	1793	13,7			108,0

Tabulka 16: Stanovení objemové hmotnosti  $\rho_d$  a míry zhutnění D (% PS) [6]

datum zkoušky	počet pojezdů	čas od úpravy	$E_{def 1}$ (MPa)	$E_{def 2}$ (MPa)	$E_{def 2}/E_{def 1}$
8. 8. 2007	4	1 hod	47,7	97,7	2,1
8. 8. 2007	8	2 hod	61,1	106,3	1,7
9. 8. 2007	8	18 hod	140,1	178,0	1,3

Tabulka 17: Výsledky statické zatěžovací zkoušky [6]

Zkouška byla ukončena na základě příznivých výsledků statické zatěžové zkoušky po osmém pojezdu s vibrací (pojezd - jeden přejezd daným místem).

Výsledek stanovení poměru únosnosti (CBR), který byl znám 20. 8. 2007, je uveden v tabulce 18, kde je srovnán s výsledkem u průkazních zkoušek. Prudký nárůst hodnot je způsoben výrazně nižší terénní a zkušební vlhkostí směsi oproti průkazním zkouškám.

zkouška	průkazní	kontrolní
poměr únosnosti CBR <sub>2,5 mm</sub> (%)	12	55
poměr únosnosti CBR <sub>5,0 mm</sub> (%)	12	49
vlhkost před zkouškou w (%)	21,8	14,9
vlhkost po zkoušce w (%)	21,1	15,2
objem. hmotnost suchá $\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	1668	1668
max. objem. hmot. $\rho_{d \max}$ (kg/m <sup>3</sup> )	1650	1660
míra zhutnění vzorku D (%)	101	100

Tabulka 18: Výsledky stanovení CBR na kontrolním vzorku směsi a porovnání s výsledkem při průkazní zkoušce [9]

Výsledky zhutňovací zkoušky prokázaly, že již po čtvrtém pojezdu s vibrací dochází k účinnému zhutnění. Navíc zkouška potvrdila poměrně snadné dosažení vyšší míry zhutnění dalšími pojezdy. Bylo doporučeno hutnit vrstvu upravené zeminy o mocnosti 0,5 m dvěma srovnávacími pojezdy bez vibrace a osmi pojezdy s vibrací se snížením maximální amplitudy a zvýšením frekvence při posledním pojezdu a dokončením hutnění statickým pojezdem. Tím byla eliminována veškerá technologická rizika. [6]

### **3.2 Kontrolní laboratorní zkoušky při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“**

Pro potřeby kontrolních laboratorních zkoušek byl vypracován kontrolní a zkušební plán pro každý stavební objekt. Kontrolní a zkušební plán odpovídal požadavkům ČSN 73 6133 a TKP 4. Cílem kontrolních zkoušek bylo plnohodnotně ověřit a objektivně posoudit technickou způsobilost a úroveň splnění – dosažení požadovaných technických parametrů stanovených normami a předpisy.

#### **3.2.1 Výsledky kontrolních laboratorních zkoušek při stavbě přeložky silnice I/57 Hladké Životice – obchvat**

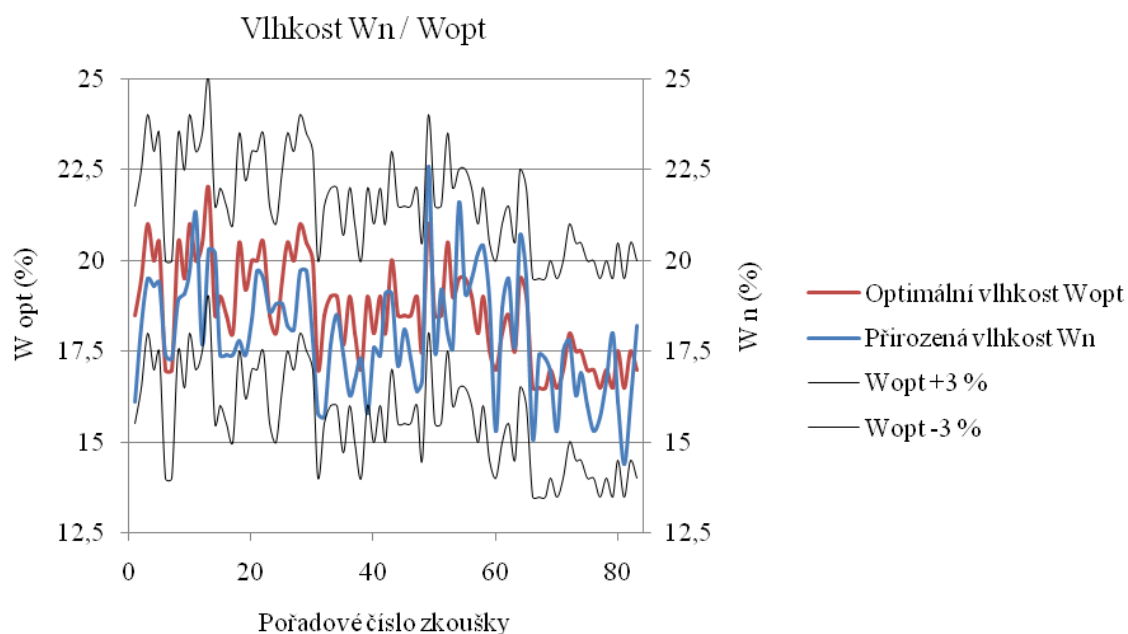
Během realizace stavby přeložky silnice I/57 Hladké Životice – obchvat bylo provedeno na upravených zeminách:

- 1244 zkoušek přirozené vlhkosti
- 264 zkoušek klasifikace zemin
- 105 zkoušek poměru zhutnitelnosti CBR
- 417 zkoušek zhutnitelnosti Proctor Standard
- 817 zkoušek míry zhutnění
- 521 zkoušek kontroly dávkování pojiva
- 199 statických zatěžovacích zkoušek

Jedná se pouze o zkoušky v rámci úprav zemin. Veškerá kontrolní činnost byla prováděna zkušební laboratoří TPA ČR - Technický zkušební institut s.r.o., pobočka Ostrava.  
[13]

### 3.2.2 Stanovení přirozené vlhkosti prosté zeminy

Přirozenou vlhkostí zeminy se rozumí hmotnostní poměr pórové nebo volné vody z hmotnosti vzorku, k hmotnosti vysušené zeminy zkušebního vzorku. Vzorek zeminy je uložen do čisté vysoušecí nádoby, kterou ještě předtím prázdnou zvážíme. Poté se váží nádoba i se zkušebním vzorkem. Nádoba se vzorkem se umístí do sušárny s nucenou cirkulací vzduchu. Sušárna musí být schopna zaručovat konstantní teplotu  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Doba vysoušení se odvíjí od druhu zeminy, velikosti zkušebního vzorku a typu použité sušárny. Dostatečná doba vysoušení je od 16 do 24 hodin. Na obrázku 15 je porovnání přirozené vlhkosti prosté zeminy s optimální vlhkostí upravené zeminy zjištěné při zkoušce Proctor Standard. [2]

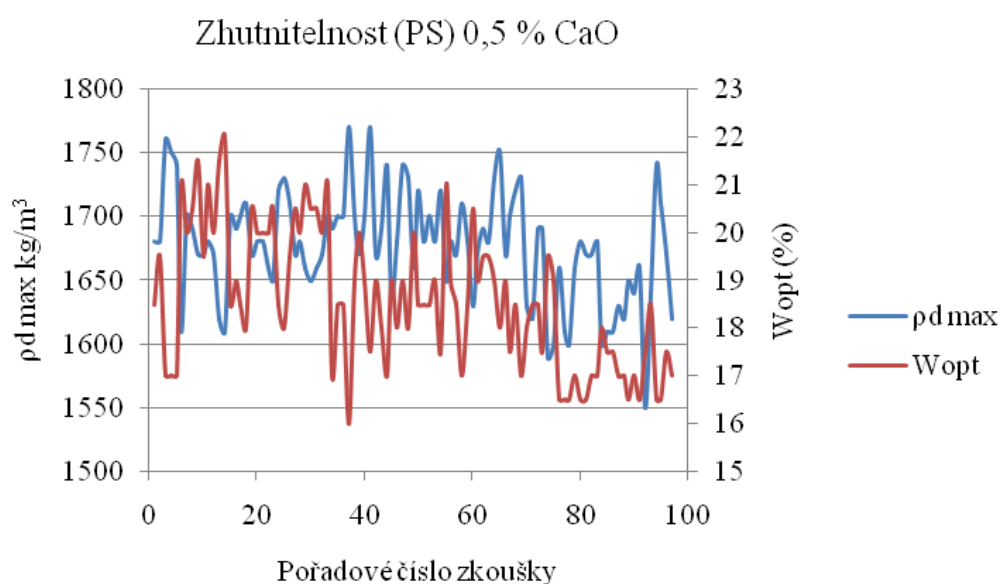


Obrázek 15: Graf porovnání přirozené vlhkosti prosté zeminy a optimální vlhkosti upravené zeminy [0]

Z grafu na obrázku č. 16 je patrné, že přirozená vlhkost vyhovuje toleranci dle ČSN 73 6133  $W_n = W_{opt} \pm 3\%$ .

### 3.2.3 Stanovení zhutnitelnosti dle Proctor Standard

Zkouška zhutnitelnosti Proctor Standard je prováděna dle normy ČSN EN 13286-2. Principem této zkoušky je stanovení maximální objemové hmotnosti v závislosti na optimální vlhkosti, při které je zemina nejlépe zhutnitelná. Vysušená a následně vhodně zvlhčená zemina se ukládá do moždíře a je hutněna pěstem o hmotnosti 2500 g, který dopadá na zeminu z výšky 300 mm. Po zhutnění je vzorek zvážen a následně odebrán malý vzorek na zjištění vlhkosti. Obrázek 16 zobrazuje závislosti optimální vlhkosti a maximální objemové hmotnosti pro zeminu upravenou 0,5 % pojiva (CaO). [3]



Obrázek 16: Graf porovnání maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti upravené zeminy [0]

Přímé stanovení parametru míry zhutnění D (ČSN 72 1006):

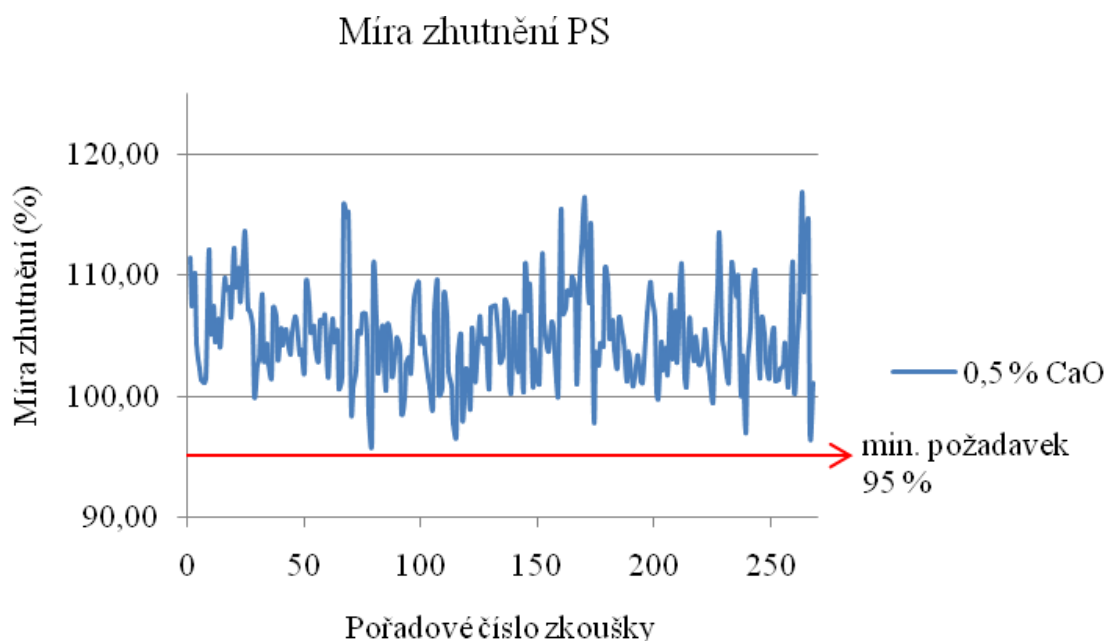
$$D = \frac{\rho_d}{\rho_{d, \max \text{ PS}}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde:  $\rho_d$  je objemová hmotnost suché zeminy v kg/m<sup>3</sup>

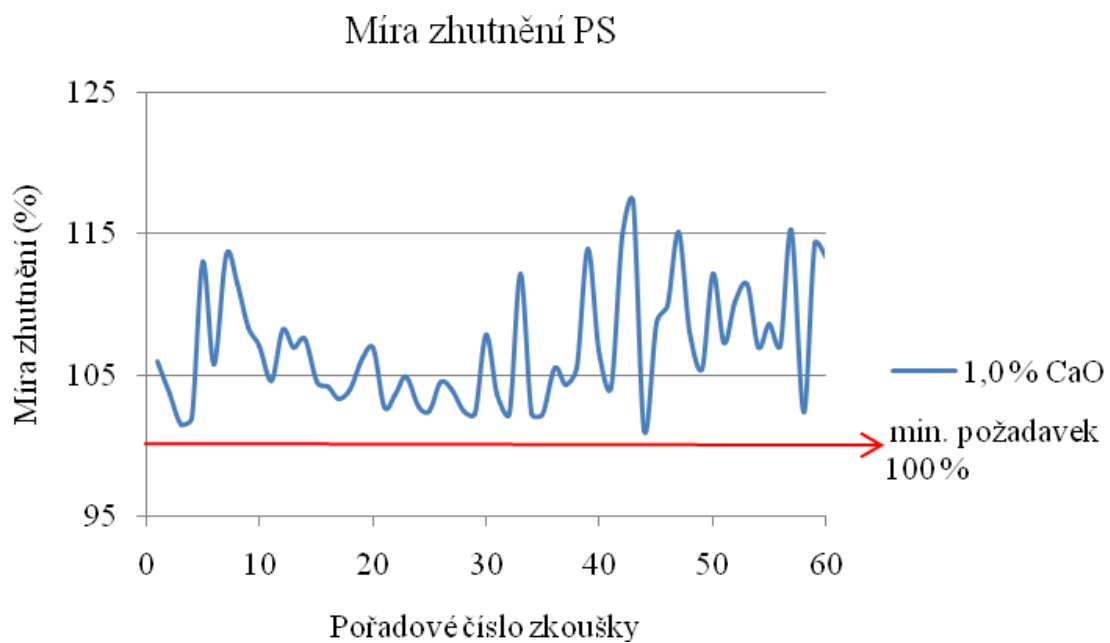
$\rho_{d, \max \text{ PS}}$  je maximální objemová hmotnost zeminy stanovena Proctorovou standardní zkouškou v kg/m<sup>3</sup> [5]



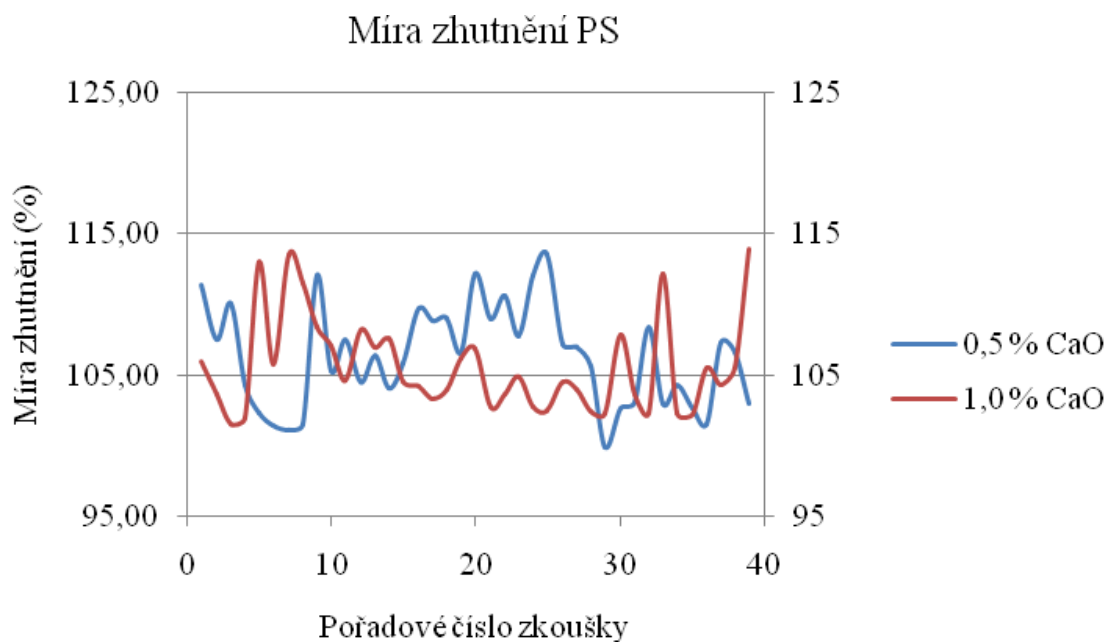
Na obrázku 17 je znázorněn graf hodnot míry zhutnění  $D$  pro zeminy upravené 0,5 % CaO a obrázek 18 znázorňuje graf hodnot míry zhutnění pro zeminy upravené 1 % CaO. Z obrázků je čitelné, že v případě dávkování 1 % CaO vykazoval parametr míry zhutnění  $D$  o něco vyšší hodnotu. V zásadě se však od poloviční dávky pojiva neliší. Přímé porovnání vybraných hodnot  $D$  je znázorněno na obrázku 19. Míra zhutnění nad 110 % byla zapříčiněna vyšší objemovou hmotností  $\rho_d$  suché zeminy zjištěné při zkoušce jamkovou metodou. Obrázek 20 zobrazuje histogramy četností výskytu naměřených hodnot pro jednotlivá množství CaO.



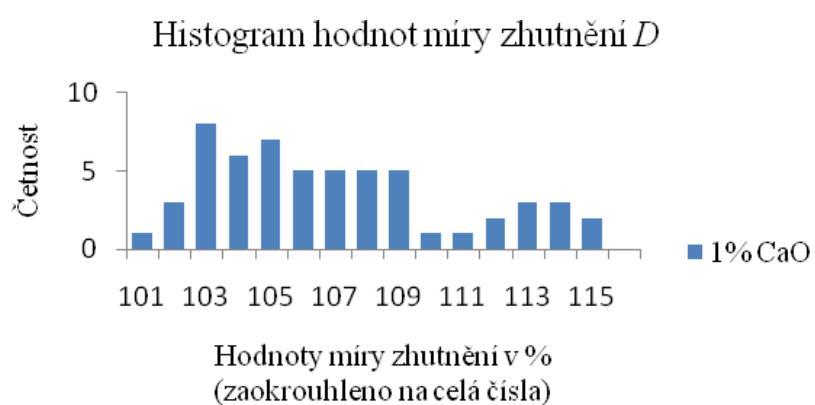
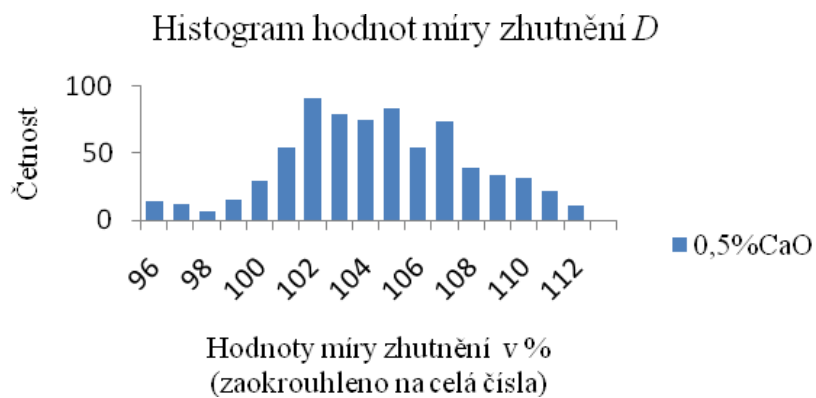
Obrázek 17: Hodnoty míry zhutnění  $D$  při dávkování 0,5 % CaO [0]



Obrázek 18: Hodnoty míry zhutnění D při dávkování 1,0 % CaO [0]



Obrázek 19: Porovnání hodnot míry zhutnění D při dávkování 0,5 % CaO a 1,0 % CaO [0]



Obrázek 20: Četnosti výskytu naměřených hodnot pro jednotlivá množství CaO [0]



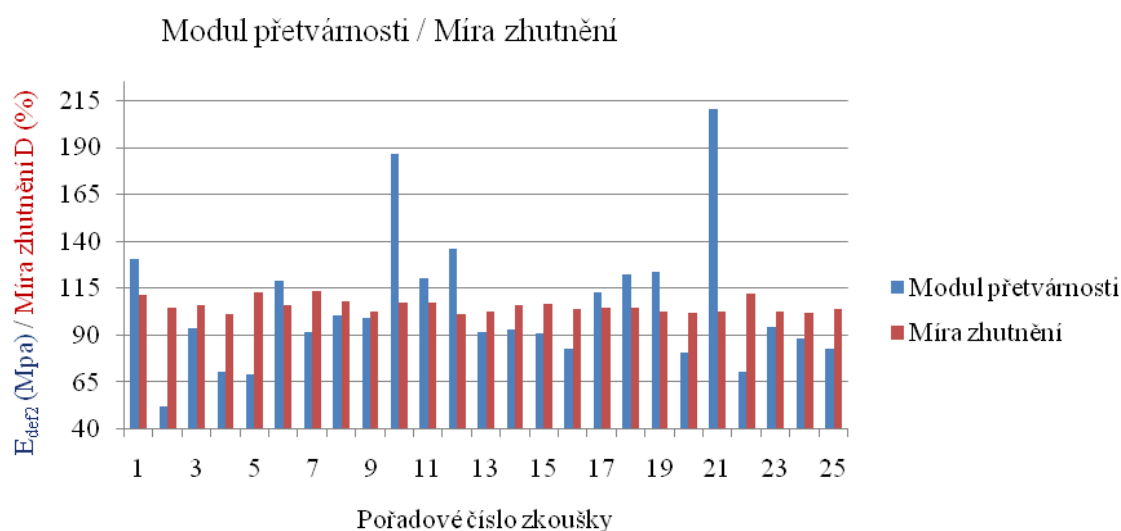
Obrázek 21: Infratest automatický Proctorův pěch – laboratoř TPA [0]

### 3.2.4 Stanovení modulu přetvárnosti statickou zatěžovací zkouškou

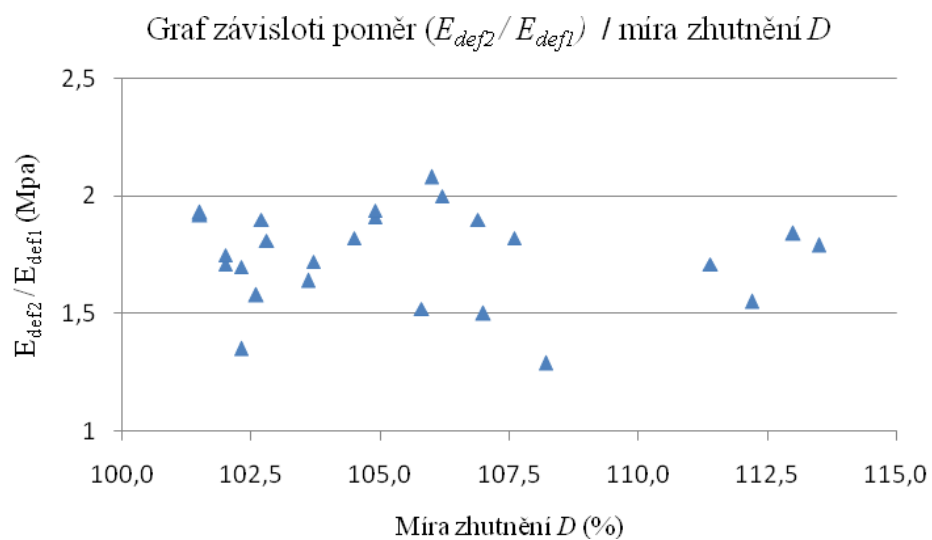
V průběhu realizace stavby přeložky silnice I/57 Hladké Životice – obchvat byly pro potřeby kontroly zhutnění prováděny i nepřímé zkoušky. Při kontrole statickou zatěžovací zkouškou jsou za kontrolní hodnoty považovány poměr modulů přetvárnosti z druhého a prvního zatěžovacího cyklu a hodnoty modulu přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu (pouze na povrchu aktivní zóny).

Zkouška se provádí pomocí kruhové zatěžovací desky o průměru 30 cm, hydraulického lisu, kulového kloubu, úchylkoměru, měřicího nosníku a protizátěže (například naložený nákladní automobil nebo vibrační válec). Deska se postupně zatěžuje předepsaným zatížením na pravidelný časový interval ve dvou zatěžovacích cyklech, mezi nimiž je provedeno odlehčení. [5]

Na obrázku 22 jsou znázorněny výsledky modulu přetvárnosti  $E_{def2}$  a míry zhutnění  $D$  podle zkoušky Proctor Standard. Obrázek 23 znázorňuje závislost poměru modulů přetvárnosti a míry zhutnění  $D$ . Zkoušky byly prováděny ve stejný den na stejném místě. Z grafu (obrázek 22) je patrný větší rozptyl hodnot při statické zatěžovací zkoušce. Z grafu dále vyplývá, že nebyla prokázána žádná závislost mezi výsledky statických zatěžovacích zkoušek a stanovením míry zhutnění přímou metodou.



Obrázek 22: Porovnání hodnot modulu přetvárnosti  $E_{def2}$  a míry zhutnění  $D$  [0]



Obrázek 23: Graf závislosti  $E_{def2}/E_{def1}$  a míry zhutnění  $D$  [0]

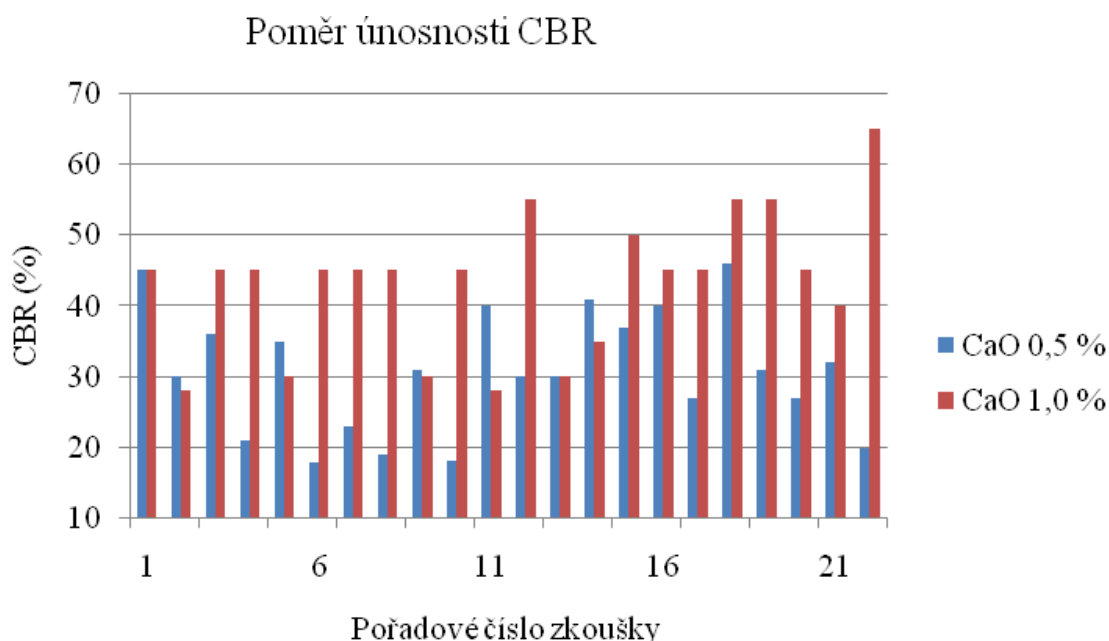


Obrázek 24: Statická zatěžovací zkouška - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]

### 3.2.5 Stanovení poměru zhutnitelnosti CBR

Zkouška se provádí dle normy ČSN EN 13286-47. Kalifornský poměr únosnosti (CBR) je index pro stanovení charakteristik únosnosti směsi, stanovený ihned po zhutnění nebo po době zrání. CBR se provádí vždy se zatěžovacím prstencem. Zkouškou se stanoví vztah mezi silou a penetrací, při pronikání válcového pístu standardního průřezu za dané rychlosti do zkušebního tělesa upravené směsi, které je uložena ve formě. [4]

Obrázek 25 vyjadřuje porovnání poměru zhutnitelnosti CBR upravené zeminy při rozdílném dávkování pojiva. Z obrázku vyplývá, že zemina upravená 1 % vápna dosahovala průměrně vyššího poměru únosnosti CBR.



Obrázek 25: Porovnání hodnot poměru únosnosti CBR upravené zeminy[0]



*Obrázek 25: Infracore lis na CBR [0]*

### **3.3 Porovnání výsledků průkazních a kontrolních laboratorních zkoušek při stavbě „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“**

Hodnocení výsledků kontrolních zkoušek prováděných během stavby „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ potvrdilo výsledky zjištěné při průkazních zkouškách a oprávněnost návrhu. Vlastnosti zemin byly v různých částech stavby odlišné jen minimálně.

Nejčastější rozdíly byly zaznamenány při zjišťování přirozené vlhkosti, která byla při průkazní zkoušce vyšší. Průměrná hodnota přirozené vlhkosti zeminy při kontrolních zkouškách činila 17,90 %, zatímco během průkazních zkoušek to bylo o 2,65 % více.

Hodnoty míry zhutnění D a poměru únosnosti CBR vycházely velmi dobře. Nižší hodnoty poměru únosnosti CBR zeminy upravené 0,5 % CaO při průkazní zkoušce byly způsobeny vyšší přirozenou vlhkostí vzorku, jak již bylo uvedeno výše.



Během realizace stavby silnice I/57 byly v hlubším zářezu stavebního objektu SO 101 v km 6,600-7,000 zjištěn výskyt stejnozrnných středně zrnitých písků. Na základě charakteru zeminy byla pro tento případ provedena zhutňovací zkouška s příměsí hydraulického silničního pojiva Doroport TB 25. Tento typ pojiva byl zvolen s ohledem na zrnitost, nepatrnou plasticitu a nižší terénní vlhkost zemin. Na základě příznivých výsledků zhutňovací zkoušky byla zemina upravena pojivem Doroport TB 25 s dávkováním 3 %.

max. suchá objemová hmotnost $\rho_{d \max PM}$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1920</b>	
optimální vlhkost $w_{opt}$ (%)	<b>8,5</b>	
pracovní vlhkost směsi bez dávky vody $w_p$ (%)	<b>8,6</b>	
rozdíel vlhkosti $\Delta w = w_p - w_{opt}$ (%)	<b>0,1</b>	
dosažitelná míra zhutnění D (% ProctorModifikovaný) při $w_p$	<b>100</b>	
výsledek stanovení CBR <sub>2,5 mm</sub> (%)	při penetraci 2,5 mm	při penetraci 5,0 mm
	<b>107,5</b>	<b>78,2</b>

*Tabulka 19: Výsledky stanovení laboratorních zkoušek na kontrolním vzorku směsi 3 % Doroport TB 25[0]*

Další výrazné změny od původního návrhu se během realizace nevyskytovaly a zemní práce byly vyhotoveny podle výsledků průkazních zkoušek.

## 4. Zhodnocení a závěr

Snahou této bakalářské práce bylo popsat a zpracovat problematiku úpravy zemin na příkladu konkrétní stavby. Jsou popsány současné nejpoužívanější metody úprav zemin s důrazem na použití vápna a hydraulických silničních pojiv.

V experimentální části se práce zabývá zhodnocením upravené zeminy v praxi. Výsledky dosažené při provádění zemních prací na stavbách dopravní infrastruktury jsou velmi pozitivní. Kontrolní zkoušky provedené v rámci stavby „Přeložka silnice I/57 Hladké Životice – obchvat“ potvrdily spolehlivost a vhodnost této technologie. Důkazem toho je aplikace úpravy zemin pojivy na další velké stavbě dopravní infrastruktury v Moravskoslezském kraji „Silnice I/11 Prodloužená Rudná“.

S úpravou zemin se můžeme potkat na stavbách v celé České republice stále častěji, například i při opravách povodňových hrází a úpravách podloží budoucích průmyslových zón. Jsou zkoušena i méně tradiční pojiva.

Častější použití metody úpravy zemin v budoucnu přinese nejen nové poznatky, ale zřejmě i s tím související problémy. Vzhledem k dosavadním zkušenostem je úprava zemin při provádění zemních prací vhodnou alternativou. Nelze opomenout ani vyšší rychlost postupu výstavby, ochranu přírodních zdrojů a nespornou úsporu ekonomických nákladů. Úprava zemin má budoucnost a lze ji jen doporučit.

### *Poděkování*

*Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Doc. RNDr. Františku Krestovi, Ph.D. za poskytnuté cenné rady, čas, připomínky a informační zdroje. Dále děkuji svému zaměstnavateli, že mi umožnil studium na vysoké škole, Ing. Daniele Miklíkové a zaměstnancům laboratoře TPA ČR, pobočka Ostrava. Rovněž děkuji své rodině a blízkým za jejich podporu během celé doby mého studia.*

## Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [0] Autorské fotografie a tabulky
- [1] CORTÉ, Jean-Francois et al. *Soil treatment with lime and / or hydraulic binders. Application to the construction of fills and capping layers*. Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2004. ISBN 27-208-0353-7.
- [2] ČSN CEN ISO/TS 17892-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin: Část 1: Stanovení vlhkosti zemin*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [3] ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy: Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [4] ČSN EN 13286-47. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [5] ČSN 72 1006. *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [6] HAVELKA, Jaroslav. *Přeložka silnice I/57 Hladké Životice - obchvat: Průkazní laboratorní zkoušky pro zlepšení sprašových hlín příměsí pojiva*. Praha, 2007.
- [7] KRESTA, František. *Technické podmínky staveb pozemních komunikací TP94. Úprava zemin*. Praha: Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, 2013.
- [8] KRESTA, František. *Úprava zemin pojivy s obsahem popílku a dosavadní aplikace pojiva RSS 5. Silniční obzor*. Praha: Česká silniční společnost, 2014, č. 1.
- [9] KRESTA, František. *Revize technických podmínek TP 94 Úprava zemin*. In: *Seminář Úpravy zemin při zemních pracích na pozemních komunikacích*. Praha: Arcadis, 2014, s. 5-10.
- [10] N. LITTLE, Dallas. *Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates*. 1999.

- [11] PUIATTI, Daniel. Soil treatment in Europe: development, last improvements, European standardization. In: *Seminář Úpravy zemin při zemních pracích na pozemních komunikacích*. Praha: Arcadis, 2014, s. 21-30.
- [12] Speciální hydraulická pojiva. *Http://www.holcim.cz/* [online]. © 2010 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.holcim.cz/produkty-a-sluzby/specialni-hydraulicka-pojiva.html>
- [13] MIKLÍKOVÁ-RYŠÁNKOVÁ, Daniela. STRABAG. *Přeložka silnice I/57 Hladké Životice - obchvat: Závěrečná zpráva*. Ostrava, 2010.

## Seznam použitých obrázků

- Obrázek 1: Zemní fréza při mísení zeminy - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]
- Obrázek 2: Dávkování vápna a mísení zeminy s vápnem - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]
- Obrázek 3: Plnění dávkovače - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]
- Obrázek 4: Závislost objemové hmotnosti suché zeminy na vlhkosti zeminy s vyznačením obsahu vzduchových pórů [7]
- Obrázek 6: Dávkovač pojiva při práci - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]
- Obrázek 7: Zemní fréza při mísení pojiva - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]
- Obrázek 8: Měření objemové hmotnosti - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]
- Obrázek 9: Kontrola hloubky promísení pojiva roztokem fenolftaleinu - Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]
- Obrázek 10: Měření objemové hmotnosti jamkovou metodou při zhutňovací zkoušce – Silnice I/11 Prodloužená Rudná [0]
- Obrázek 11: Vážení vzorku zeminy v laboratoři TPA [0]
- Obrázek 12: Kopaná sonda K2. SO 101 - zářez v km 6,320 - silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [6]
- Obrázek 13: Graf výsledků zhutnitelnosti Proctor Standard na vzorku prosté zeminy jeho směsích [6]
- Obrázek 14: Graf výsledků stanovení CBR [6]
- Obrázek 15: Graf porovnání přirozené vlhkosti prosté zeminy a optimální vlhkosti upravené zeminy [0]
- Obrázek 16: Graf porovnání maximální objemové hmotnosti a optimální vlhkosti upravené zeminy [0]
- Obrázek 17: Hodnoty míry zhutnění  $D$  při dávkování 0,5 % CaO [0]
- Obrázek 18: Hodnoty míry zhutnění  $D$  při dávkování 1,0 % CaO [0]

Obrázek 19: Porovnání hodnot míry zhutnění  $D$  při dávkování 0,5 % CaO a 1,0 % CaO [0]

Obrázek 20: Četnosti výskytu naměřených hodnot pro jednotlivá množství CaO [0]

Obrázek 21: Infratest automatický Proctorův pěch – laboratoř TPA [0]

Obrázek 22: Porovnání hodnot modulu přetvárnosti  $E_{def2}$  a míry zhutnění  $D$  [0]

Obrázek 23: Graf závislosti  $E_{def2} / E_{def1}$  a míry zhutnění  $D$  [0]

Obrázek 24: Statická zatěžovací zkouška - Silnice I/57 Hladké Životice - obchvat [0]

Obrázek 25: Porovnání hodnot poměru únosnosti CBR upravené zeminy [0]

Obrázek 25: Infratest lis na CBR [0]

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztažené na 1 % příměsi pojiva [7]

Tabulka 2: Přehled požadovaných vlastností vzdušného nehašeného vápna [7]

Tabulka 3: Požadované hodnoty poměru únosnosti upravených zemin v násypu a podloží násypu [7]

Tabulka 4: Požadované hodnoty únosnosti CBR a IBI pro upravené zeminy pro aktivní zónu [7]

Tabulka 5: Průkazní zkoušky upravených zemin [7]

Tabulka 6: Kontrolní zkoušky čerstvé směsi upravených zemin [7]

Tabulka 7: Kontrola hloubky promísení – četnost zkoušky [7]

Tabulka 8: Kontrolní zkoušky při provádění a po dokončení zemního tělesa z upravených zemin (viz tab. 10b ČSN 73 613) [7]

Tabulka 9: Kontrolní zkoušky na zemní pláni pro zeminy upravené (viz tab. 11 ČSN 73 6133) [7]

Tabulka 10: Kontrolní zkoušky při úpravě zemin pojivy [7]



*Tabulka 11: Vlhkosti průkazních vzorků zeminy [6]*

*Tabulka 12: Fyzikální vlastnosti odebraných vzorků [6]*

*Tabulka 13: Výsledky stanovení zhutnitelnosti [6]*

*Tabulka 14: Výsledky stanovení CBR [6]*

*Tabulka 15: Výsledky stanovení zhutnitelnosti [6]*

*Tabulka 16: Stanovení objemové hmotnosti  $\rho_d$  a míry zhutnění D (% PS) [6]*

*Tabulka 17: Výsledky statické zatěžovací zkoušky [6]*

*Tabulka 18: Výsledky stanovení CBR na kontrolním vzorku směsi a porovnání s výsledkem při průkazní zkoušce [6]*

*Tabulka 19: Výsledky stanovení laboratorních zkoušek na kontrolním vzorku směsi 3 % Doroport TB 25[0]*